BESTIMMUNG NIEDRIG-TEMPERIERTER SCHMELZZUSAMMENSETZUNGEN IM SYSTEM Q - Ab - Or - An - H_2O AUF DEN KOTEKTISCHEN FLÄCHEN PLAGIOKLAS - ALKALIFELDSPAT - SCHMELZE - GASPHASE UND QUARZ - ALKALIFELDSPAT - SCHMELZE - GASPHASE

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Manfred Böse
aus Amberg

Göttingen 1974

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534922_0028

BESTIMMUNG NIEDRIG-TEMPERIERTER SCHMELZZUSAMMENSETZUNGEN IM SYSTEM Q - Ab - Or - An - H_2O AUF DEN KOTEKTISCHEN FLÄCHEN PLAGIOKLAS - ALKALIFELDSPAT - SCHMELZE - GASPHASE UND QUARZ - ALKALIFELDSPAT - SCHMELZE - GASPHASE

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Manfred Böse
aus Amberg

Göttingen 1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

D 7

Referent: Professor Dr. H.G.F. Winkler

Korreferent: Professor Dr. K.H. Wedepohl

Tag der mündlichen Prüfung: 18. 12. 1974

INHALTSÜBERSICHT

Seite

A) EINLEITUNG UNB PROBLEMSTELLUNG

1) Anatexis, Migmatit- und Granitbildung.....1
2) Das granitische System Q-Ab-Or-An-H_2O.....2
3) Ziel der Arbeit.....9

B) EXPERIMENTELLES UND APPARATIVES

1) Hestellung von Ausgangsmischungen und Proben.....10
2) Auswahl der zu untersuchenden Proben.....11
3) Untersuchung mit der Elektronenstrahlmikrosonde.....12
3.1) Prinzip und Instrumentation der Mikrosonde.....12
3.2) Vorbereitung von Proben und Standards.....13
3.3) Arbeitsschema und Meßprogramm.....13

C) BESTIMMUNG KOTEKTISCHER GRANITISCHER SCHMELZEN MIT DER ELEKTRONENSTRAHLMIKROSONDE

1) Standardauswahl und Meßkontrolle.....16
2) Abdampfkorrektur.....17
3) Analysenfehler.....17

D) ERGEBNISSE

1) Bestimmung der kotektischen Linie P-E_5.....18
2) Festlegung der Isothermen bei 5 kb H_2O-Druck.....26
3) Festlegung der Isothermen bei 7 kb H_2O-Druck.....32

E) DISKUSSION.....39

F) PETROGENETISCHE BEDEUTUNG DER ERGEBNISSE.....50

G) ZUSAMMENFASSUNG.....62

H) LITERATURHINWEIS.....65

A) EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

1) Anatetexis, Migmatit- und Granitbildung

Weltweite geologisch-petrographische Beobachtungen haben ergeben, daß in metamorphen Gebieten immer nur dann, wenn ein hoher Mtamorphosegrad gegeben war, Gneise in Migmatite und letztere durch mehr oder weniger homogene Granite ersetzt sein können. Zahlreiche Experimente, die eine Erklärung für die Migmatit- und Granitbildung geben sollen, beweisen, daß der Vorgang der Anatexis von großer petrologischer Bedeutung ist.

So stellte bereits WINKLER (1957) fest, daß zwischen hochgradiger Metamorphose und Migmatit- bzw. Granitbildung ein enger Zusammenhang besteht, indem er nachwies, daß die Temperaturen einer hochgradigen Metamorphose ausreichen, um Gneise partiell aufzuschmelzen. Weiter konnte er zeigen,daß anatektisch gebildete Schmelzen Granit-Zusammensetzung haben, Kalifeldspat ($KAlSi_3O_8$), Albit ($NaAlSi_3O_8$) und Quarz (SiO_2) die Hauptkomponenten darstellen und daß auch die Komponente Anorthit ($CaAl_2Si_2O_8$) in Mengen von wenigen Prozenten vorkommt.

Ist die für den Beginn der Anatexis in einem Gneiskomplex erforderliche Temperatur (z.B. 700 ^oC bei 2 kb H_2O-Druck oder 680 ^oC bei 4 kb H_2O-Druck, aus WINKLER, 1974) erreicht, so hängt die Zusammensetzung und die Menge dieser anatektischen Frühschmelze einerseits von der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung des Ausgangsgneises und andererseits von dem Druck der anwesenden Gasphase ab.

Um über die Schmelzzusammensetzungen quantitative Aussagen machen zu können, ist es angebracht, die Gleichgewichtsbedingungen zwischen Schmelze, Kristallen und Gasphase in einem System zu betrachten, das aus den Komponenten SiO_2 (Q), $NaAlSi_3O_8$ (Ab), $KAlSi_3O_8$ (Or), $CaAl_2Si_2O_8$ (An) und H_2O aufgebaut ist. Diese Komponenten sind wesentliche Bestandteile

von Gneisen und der aus ihnen entstehenden granitischen, granodioritschen, tonalitischen und trondjemitischen Schmelzen.

Granitische Gesteine können bis zu 95 Gew.% aus jenen fünf Komponenten aufgebaut sein (aus WINKLER, 1974, S. 295).

2) Das granitische System Q-Ab-Or-An-H_2O

WINKLER (1965, 1967 und 1974) hat ganz klar herausgestellt, daß zur Interpretation der Granitgenese nur dieses, auch die An-Komponente enthaltende System petrogenetisch sinnvoll und richtig ist, denn Granite, Granodiorite, Tonalite und Trondhjemite enthalten bisweilen bis zu 20 Gew.% An-Komponente. Nur sehr selten sind deren Plagioklase reine Albite, meist Oligoklase oder Andesine.

Ein System, das aus vier Komponenten (und H_2O als fünfter) besteht, ist graphisch (räumlich) in Form eines Tetraeders darstellbar. Dies gilt allerdings nur, wenn H_2O stets im Überschuß vorhanden ist. Man kann somit von einem kondensierten Vierstoffsystem sprechen. Die vier Ecken dieses Tetraeders bezeichnen die Komponenten Q, Ab, Or und An. Ein Punkt unmittelbar in der Ab-Ecke bedeutet 100 Gew.% Ab; Punkte auf einer der sechs Tetraederkanten und auf einer der vier Tetraederflächen liefern eine Zusammensetzung in genau derselben Weise wie bei einem gleichseitigen Konzentrationsdreieck; ein Punkt innerhalb des Tetraeders gibt ein Gemenge aus allen vier Komponenten wieder. Zur Veranschaulichung betrachtet man Projektionen aus dem Tetraederraum von einer Tetraederspitze auf die jeweils gegenüberliegende Tetraederfläche in Planardarstellung. Infolge der Festlegung von vier Komponenten an den vier Tetraederecken lassen sich Phasenbeziehungen zwischen Schmelzzusammensetzungen und koexistierenden kristallinen Phasen anschaulich erläutern. Durch Tetraederdarstellungen können nur isobare Zustände zum Ausdruck gebracht werden.

Die folgende kurze Beschreibung des Systems ist eine enge Anlehnung an die Ausführungen von WINKLER (1967, 1972 und 1974).

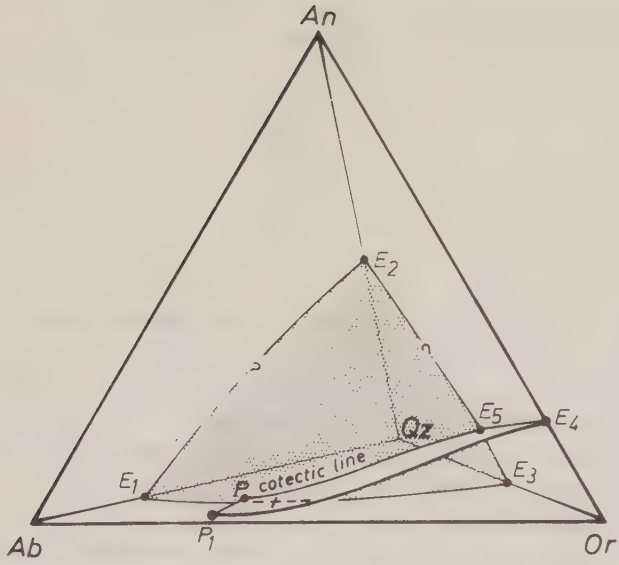


Abb. 1: Darstellung des räumlichen Tetraedermodells. Für einen bestimmten H_2O-Druck (hier 2 kb) sind die drei kotektischen Flächen ($P-E_5-E_2-E_1$, $P_1-E_4-E_5-P$ und $P-E_3-E_5$), sowie die kotektische Linie $P-E_5$ (die Schnittlinie dieser drei kotektischen Flächen) dargestellt.
(aus WINKLER, 1967)

Das Vierstoffsystem Q-Ab-Or-An (siehe Abb. 1) wird begrenzt von den vier Dreistoffsystemen:

Q - Ab - Or ($-H_2O$)
Ab - Or - An ($-H_2O$)
Or - An - Q ($-H_2O$)
An - Q - Ab ($-H_2O$)

und den sechs Zweistoffsystemen:

Q - Ab ($-H_2O$)
Or - Q ($-H_2O$)
Ab - Or ($-H_2O$)
Ab - An ($-H_2O$)
Or - An ($-H_2O$)
Q - An ($-H_2O$)

Der Raum des Tetraeders wird von drei kotektischen Flächen durchzogen, es sind dies:

(1) die Fläche P-E_5-E_2-E_1, auf der all die Schmelzen liegen, die mit Plagioklas, Quarz (und einer Gasphase) koexistieren,
(2) die Fläche P_1-E_4-E_5-P, auf der all die Schmelzen liegen, die mit Plagioklas, Alkalifeldspat (und einer Gasphase) koexistieren und
(3) die Fläche P-E_3-E_5, auf der all die Schmelzen liegen, die mit Quarz, Alkalifeldspat (und einer Gasphase) koexistieren.

Im Bereich geringer An-Konzentrationen wird der Tetraederraum von einer (einzigen) Linie, der kotektischen Linie P-E_5 durchlaufen, an der die oben erwähnten drei kotektischen Flächen zusammentreffen. Im Punkt E_5, dem Eutektikum des Systems Q-Or-An($-H_2O$), ist die Temperatur etwa 50-60 °C höher als im Punkt P, dem Temperaturminimum bzw. Eutektikum des Systems Q-Ab-Or($-H_2O$). Diese kotektische Linie ist von wesentlicher Bedeutung, denn auf ihr liegen alle Schmelzzusammensetzungen, die mit Quarz, Plagioklas, Alkalifeldspat (und einer Gasphase) koexistieren.

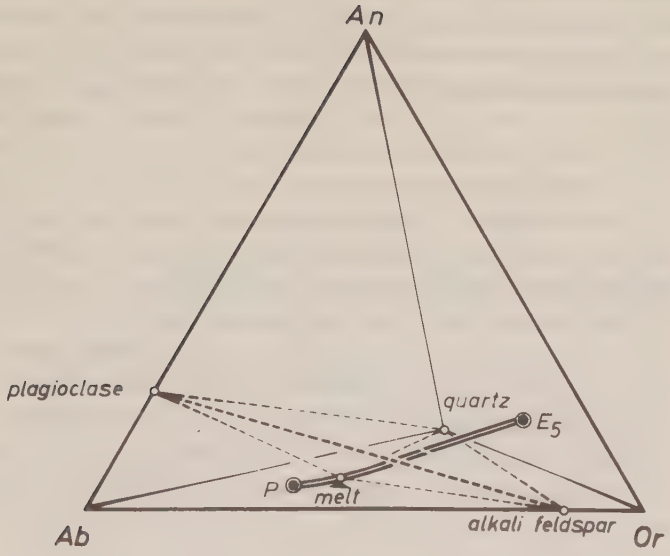


Abb. 2: Schematische Darstellung eines kotektischen Zustandes. Die auf der kotektischen Linie P-E_5 liegende Schmelze ("melt") steht im Gleichgewicht mit Quarz, Plagioklas, Alkalifeldspat (und einer Gasphase).
(aus WINKLER, 1972)

Obwohl die Lage der drei kotektischen Flächen und der kotektischen Linie noch nicht genau bestimmt wurden, können sie doch annähernd angegeben werden (siehe Abb. 1 und 2).

WINKLER (1967, 1972 und 1974) sagt, daß spät-kristallisierende Schmelzen ebenso wie Schmelzen, die beim Beginn der Anatexis von Gneisen, die im System Q-Ab-Or-An(-H_2O) dargestellt werden können, gebildet werden, auf der für den jeweiligen H_2O-Druck geltenden kotektischen Linie P-E_5 liegen. Während der Anatexis von Gneisen ($P_{H_2O} = P_{total}$) können Schmelze, Quarz, Plagioklas, Alkalifeldspat (und Gasphase) nur in einem Temperaturbereich von 15 ± 10 °C zusammen auf der kotektischen Linie im Gleichgewicht stehen, da der Plagioklas der Gneise in der Regel nur einen An-Gehalt von 10 - 35 Gew.% hat. Vom Erreichen der kotektischen Linie bis zum Ende der Kristallisation verändert sich die Schmelze entlang dieser Linie in Richtung auf den Punkt P zu, bis alles auskristallisiert ist. Der Punkt P wird dabei in der Regel nicht erreicht, außer im Falle einer extremen fraktionierten Kristallisationsdifferentiation. Bei steigendem H_2O-Druck verschiebt sich die Zusammensetzung des Eutektikums E_5 im Seitensystem Q-Or-An(-H_2O) zu etwas höheren An-Gehalten (siehe Tab. 1).

kb	or	q	an	q	or
2	51	40	9	44	56
4	49	39	12	44	56
5	48	38	14	44	56
7	44	38	18	46	54

Tab. 1: Zusammensetzung des Eutektikums E_5 und des auf die Q-Or-Kante projezierten Punktes E_5'. Die Zusammensetzungen sind in Gew.% angegeben.
(aus WINKLER und GHOSE, 1973)

Eine Steigerung des H_2O-Druckes verschiebt auch den Punkt P merklich in Richtung auf die Ab-Ecke des Tetraeders und hebt gleichzeitig die gesamte kotektische Linie etwas höher in

Richtung zur An-Spitze des Tetraeders an. Somit können also Schmelzen, welche auf der kotektischen Linie P-E_5 liegen, bei höherem Druck auch mehr An-Gehalt besitzen.

Der Verlauf der kotektischen Linie P-E_5 für verschiedene Drucke ist noch nicht genau bekannt. WINKLER (1974) konnte lediglich den Verlauf der Projektionen der kotektischen Linien in die An-freie Q-Ab-Or-Ebene ermitteln (siehe Abb. 3). Nicht bekannt sind also bisher die An-Gehalte und der Temperaturverlauf entlang der in Abb. 3 als Projektionen dargestellten kotektischen Linien P-E_5.

WINKLER et al. (1972) haben zum besseren Verständnis der Granitgenese auf drei wesentliche Punkte hingewiesen:

(1) Nur ein granitisches extremes Spätdifferentiat oder eine nahezu zuletzt kristallisierende Restschmelze können sich der eutektischen Schmelzzusammensetzung in der Nähe des Punktes P auf der kotektischen Linie P-E_5 annähern.

(2) Kein granitisches Magma muß (bei einem H_2O-Druck größer 3 kb) eine eutektische Schmelzzusammensetzung haben (bezogen auf das System Q-Ab-Or-H_2O), ausgenommen jene Schmelzen, die beim ersten Auftreten von Anatexis in jenen seltenen Gneisen gebildet werden, die aus Quarz, Alkalifeldspat und Albit (als Plagioklasspezies) bestehen.

(3) Sowohl Spätdifferentiate von Kalk-Alkali-Graniten als auch Frühschmelzen, die sich bei der Anatexis von Gneisen bilden, welche aus Quarz, Alkalifeldspat und Plagioklas (nicht Albit) bestehen, liegen bei einem gegebenen H_2O-Druck auf der isobaren kotektischen Linie P-E_5 des Systems Q-Ab-Or-An-H_2O. Die genaue Lage der Schmelzen auf dieser Linie wird bei gegebenen p-T-Bedingungen durch die Zusammensetzung von Plagioklas und Alkalifeldspat bestimmt, die gleichzeitig mit Quarz, Schmelze und Gasphase im Gleichgewicht stehen. Schmelzen, welche nicht mit Plagioklas, Alkalifeldspat und Quarz koexistieren, liegen mehr oder weniger weit entfernt von der Linie P-E_5.

Daher ist es nicht richtig, anzunehmen, daß Granite, deren darstellende Punkte im Dreieck Q-Ab-Or nicht in der unmittelbaren Nähe der kotektischen Linie liegen, nicht aus einer Schmelze auskristallisiert seien, sondern durch metasomatische Umwandlungen ("Granitisation") von nicht-granitischem Ausgangsmaterial entstanden seien.

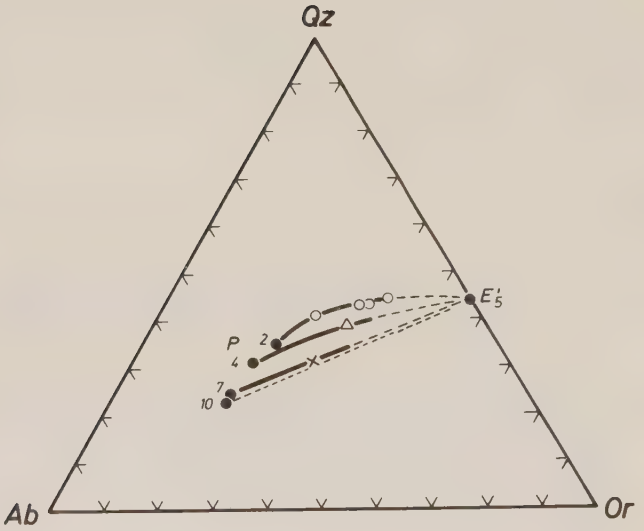


Abb. 3: Projektion der kotektischen Linien P-E_5 in die Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders Q-Ab-Or-An für 2, 4, 7 und 10 kb H_2O-Druck. Der Projektionspunkt von E_5 ist E'_5. Der Punkt P ist das Temperaturminimum bei 2 kb H_2O-Druck und Eutektikum für 4, 7 und 10 kb H_2O-Druck des Systems Q-Ab-Or(-H_2O).

Da die Kristallisation von Biotit (± Muskovit, ± Hornblende etc.) nicht mit zur Darstellung kommen können, stellt das System Q-Ab-Or-An(-H_2O) bezüglich der Interpretation granitischer Magmen noch eine Vereinfachung dar.

3) Ziel der Arbeit

Zunächst wird die genaue Lage der kotektischen Linie P-E_5 im System Q-Ab-Or-An(-H_2O) bei P_{H_2O} = 5 kb festgelegt. Dazu werden der An-Gehalt und die Temperatur an mehreren Stellen dieser Linie experimentell bestimmt.

In weiteren Experimenten werden niedrig-temperierte Schmelzzusammensetzungen in besagtem System auf den kotektischen Flächen Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase und Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase bei einem H_2O-Druck von 5 kb und einer Temperatur von 670 und 685 °C, sowie einem H_2O-Druck von 7 kb und einer Temperatur von 655 und 670 °C ermittelt. Diese Drucke und Temperaturen wurden deshalb gewählt, weil sie den in der Natur anzutreffenden p-T-Bedingungen bei der Anatexis von Gneisen entsprechen. Die darstellenden Punkte dieser Schmelzen dienen zur Festlegung von Isothermen auf den beiden kotektischen Flächen. Die Schmelzen werden mit einer Elektronenstrahlmikrosonde vom Typ ARL EMX analysiert. Wichtig ist dabei vor allem der An-Gehalt dieser Schmelzen auf den Isothermen und der kotektischen Linie P-E_5.

Es soll durch diese Untersuchungen gezeigt werden, daß es in der Nähe der kotektischen Linie P-E_5 relativ große Bereiche mit niedrigen An-Gehalten und niedriger Temperatur gibt, in denen Schmelzen granitischer Zusammensetzung bildbar sind.

Die Versuchsergebnisse werden unmittelbar auf das bedeutende Problem der Entstehung von Graniten angewendet, insbesondere auf die Frage ihrer magmatischen oder metasomatischen Genese. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wird es möglich sein, in jedem konkreten Fall eine Entscheidung zu treffen. Daher wird die vorliegende Arbeit einen wichtigen Beitrag zur Erforschung der Entstehung granitischer Gesteine leisten.

B) EXPERIMENTELLES UND APPARATIVES

1) Herstellung von Ausgangsmischungen und Proben

Zur Herstellung der Ausgangsminerale (Quarz, Plagioklase und Alkalifeldspäte) wurden folgende Ausgangssubstanzen verwendet:

$Ca(OH)_2$	(p.a., Fa. Merck)
SiO_2	(specpure, Johnson Matthey, Chemicals Ltd., London)
Al_2O_3	(")
K_2CO_3	(")
Na_2CO_3	(")

Spektralreine Ausgangssubstanzen wurden deshalb gewählt, um in einem möglichst verunreinigungsfreien System zu arbeiten. An diesen Ausgangssubstanzen wurden zunächst Reinheitsuntersuchungen durchgeführt. Eine geringe Verunreinigung konnte lediglich am $Ca(OH)_2$ festgestellt werden (Umwandlung von $Ca(OH)_2$ in $CaCO_3$ durch Luft-CO_2), was bei der stöchiometrischen Einwaage entsprechend berücksichtigt wurde.

Die Herstellung der Ausgangsminerale erfolgte nach einer seit Jahren im Petrologischen Institut erprobten und mit Erfolg praktizierten Methode in den dafür zur Verfügung stehenden Hydrothermalapparaturen bei einem H_2O-Druck von 2 kb, einer Temperatur von 740 °C für die Plagioklase und 710 °C für die Alkalifeldspäte. Die Versuchsdauer betrug dabei jeweils 14 Tage.

Folgende Feldspäte wurden hydrothermal synthetisiert:

$Or_{90}Ab_{10}$	$Ab_{95}An_{05}$	$Ab_{70}An_{30}$
$Or_{75}Ab_{25}$	$Ab_{90}An_{10}$	$Ab_{40}An_{60}$
	$Ab_{85}An_{15}$	

Die Zusammensetzung dieser naß-synthetisierten Feldspäte umfaßt die in granitischen Gesteinen häufig anzutreffenden Feldspäte (Ausnahme $Ab_{40}An_{60}$). Die Alkalifeldspäte wurden nach der Methode von ORVILLE (1962), die Plagioklase nach der von VISWANATHAN (1971) identifiziert. Da die Synthesen aller

Feldspäte in einem dicht verschweißten Goldrohr (geschlossenes System) stattfanden, war eine Zu- oder Wegführung von Substanz auszuschließen; ein unvollständiger Umsatz konnte röntgenographisch ebenfalls nicht festgestellt werden. Aus den synthetisierten Ausgangsmineralien wurden Mischungen hergestellt, die ihren darstellenden Punkt mehr oder weniger in der Nähe der kotektischen Linie P-E_5 des Systems Q-Ab-Or-An(-H_2O) hatten, wodurch bei niedrigen Temperaturen ein hoher Schmelzanteil gewährleistet war. Diese Mischungen wurden zusammen mit H_2O_{dest} (im Überschuß!) in einem 0,5 cm langen, dünnwandigen Goldröhrchen luftdicht verschweißt (geschlossenes System) und bei den auf Seite 9 genannten p-T-Bedingungen in den Hydrothermalapparaturen zur Reaktion gebracht. Die Versuchszeiten betrugen hier im Mittel 60 Stunden. Es wurden insgesamt etwa 80 Versuche angesetzt.

2) Auswahl der zu untersuchenden Proben

Durch Röntgendiffraktion wurde festgestellt, ob bei den genannten Druck- und Temperaturbedingungen eine kotektische Schmelze vorlag.

Für die weiteren Untersuchungen wurden nur solche Proben verwendet, deren Schmelze mit einer kristallinen Restphase (für die Festlegung des Isothermenverlaufs im Tetraederraum), mit zwei kristallinen Restphasen (für die Festlegung der Isotherme auf der kotektischen Fläche) oder mit drei kristallinen Restphasen (für die Bestimmung der kotektischen Linie) vorlag. Die Restphasen mußten dabei röntgenographisch noch nachweisbar sein, aber insgesammt mindestens 80 % Schmelze (Glasanteil) gewährleistet sein. Dies ermöglicht repräsentative Mikrosondenanalysenergebnisse. Diese in Frage kommenden Proben wurden dann mit einer Elektronenstrahlmikrosonde vom Typ ARL EMX im Geochemischen Institut der Mineralogischen Anstalten untersucht.

3) Untersuchung mit der Elektronenstrahlmikrosonde

3.1) Prinzip und Instrumentation

Das Prinzip der Mikrosonde ist die Kombination von Elektronenanregung (Elektronenkanone) mit der Röntgenspektralanalyse (Röntgenspektrometer).

Sie besteht aus:

(1) Probenkammer und Probenbühne
(2) Mikroskop
(3) Elektronenoptisches System
(4) Röntgenoptisches System
(5) Vakuum-System
(6) Verstärker- und Anzeigesystem

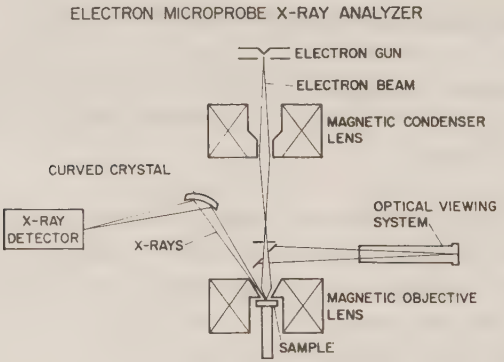


Abb. 4: Arbeitsprinzip der Mikrosonde (aus KEIL, 1967).

Der Elektronenstrahl aus der Elektronenkanone wird mit Hilfe von zwei elektromagnetischen Linsen (Kondensorlinse und Objektivlinse) auf unter 1μ im Durchmesser verkleinert und auf die zu untersuchende Probe fokussiert. Das vom Elektronenstrahl erzeugte Röntgenspektrum wird mit einem Kristall-Röntgenspektrometer analysiert, welches nach dem JOHANNSON-Prinzip arbeitet. Während der Analyse wird die Probe im Mikroskop der Mikrosonde beobachtet.

Neue Wellenlängendetektor-Systeme für ultraweiche Röntgenstrahlung erlauben Messungen der K-Linie von Elementen bis herab zur Ordnungszahl Z = 5 (Bor).

Werden Korrekturfaktoren für Drift, Totzeit, Wellenlängenverschiebung, Ordnungszahl, Massenabsorption, Sekundärfluoreszenz, sowie Untergrund sowohl für die Probe als auch für den Standard angewendet, so ist es in der Regel möglich, sich innerhalb einer Fehlergrenze von ±5% zu bewegen. Soll der Analysenfehler innerhalb von ±2% liegen, so ist auf die Standardauswahl, die Kalibration und die Vorbereitung der Proben und Standards besondere Sorgfallt zu legen.

3.2) Vorbereitung von Proben und Standards

Die Herstellung der Mikrosondenschliffe unterscheidet sich nicht wesentlich von der für die Mikroskopie. Für die Mikrosondenanalysen wurde Dünnschliffen gegenüber Anschliffen der Vorzug gegeben. Das Trägerglas ist hierbei rund, die Dünnschliffe haben kein Deckglas. Die Probenoberfläche muß reliefffrei poliert sein.

Da viele Minerale elektrisch nicht leitfähig sind und sich unter dem Elektronenbeschuß aufladen, wird auf Probe und Standard ein dünner Film einer elektrisch leitenden Schicht aufgetragen. Dies geschieht in einer Bedampfungsanlage. Eine Kohlenstoffschicht von einigen 100 Å Dicke ist die gebräuchlichste und vorteilhafteste und wurde auch im vorliegenden Fall verwendet. "Leitsilber" - eine Emulsion von feinstem Silberstaub in Öl - ist ein geeignetes Mittel, um Probe und Standard in elektrischen Kontakt zu den metallenen Probenhaltern zu bringen.

3.3) Arbeitsschema und Meßprogramm

Die Mikrosondenanalysen wurden nach folgendem, im Rahmen meiner Diplomarbeit (1973) erarbeiteten Schema vorbereitet und durchgeführt:

(1) Herstellung der Mikrosonden-Dünnschliffe mit besonderer Berücksichtigung ihrer Oberflächenqualität.

(2) Auswahl und Markierung (Diamantstift) von Meßpunkten auf der Probe. Dies geschah unter einem Binokular bei Auflicht/Durchlicht. Auf jeder Probe wurden für die fünf zu bestimmenden Elemente (SiO_2, Al_2O_3, CaO, Na_2O und K_2O) 6 - 10 Meßpunkte festgelegt. Das Schliffbild mit den markierten Punkten wurde zum Wiedererkennen im Mikroskop der Mikrosonde aufgezeichnet.

(3) Bedampfen von Proben und Standards; Auftragen des Kontaktmittels.

(4) Funktionstest der Mikrosonde.

(5) Quantitative Analyse der Proben gemäß dem Meßprogramm (siehe Tab. 2).

Die auf Lochkarten übertragenen Impulsraten aus dem Anzeigesystem der Mikrosonde werden mit Hilfe eines UNIVAC-Computers korrigiert. Folgende Berechnungen werden von dem von J. RUCKLIDGE in FORTRAN IV ausgearbeiteten Programm EMPADR VII durchgeführt: Drift-, Untergrund-, Totzeit-, Ordnungszahl-, Massenabsorptions-, Sekundärfluoreszenzkorrektur, Fehlerberechnung, sowie Umrechnung in Mol- und Gewichtsprozente. Durch einige Modifikationen wurde das Programm dem im Göttinger Rechenzentrum zur Verfügung stehenden FORTRAN-Compiler angepaßt. Meßdaten einer unbekannten Probe können auf Standards beliebiger Zusammensetzung bezogen werden. Die zur Berechnung der Analysen notwendigen Daten können entweder Bestandteile des Programms selbst sein, oder aber über ein Unterprogramm eingegeben werden.

Das hier beschriebene und in meiner Diplomarbeit ausgearbeitete Verfahren wurde an der Mikrosonde des Geochemischen Institutes der Mineralogischen Anstalten erlernt und erprobt, wobei die Unterstützung und der Rat von Herrn Dr. A. Schneider von großem Nutzen waren.

Element	Si	Al	Ca		Na	K
Linie			←	$K_{\alpha 1,2}$	→	
λ	7,126	8,339	3,360		11,91	3,744
X-TAL/Spek.	ADP/1	ADP/1	LiF/2		KAP/3	LiF/2
Meßfolge	3	4	5		2	1
Standard			←	Gläser	→	
SC (μA)			←	0,01	→	
HV (kV)			←	15	→	
Zählzeit (sec)			←	10	→	
Untergrund 1	2,750	3,220	3.440		1,870	3,787
Untergrund 2	2,630	3,080	3,270		1,730	3,690
Gears (theor.)	2,6971	3,1562	3,360		1,8008	3,744
Gears (Schm.)	2,6978	3,1584	3,3574		1,8052	3,7403

Tab. 2: Arbeitstechnische Voraussetzungen für die Bestimmung granitischer Schmelzen (Silikatgläser) mit der Elektronenstrahlmikrosonde ARL EMX.

X-TAL/Spek. = Kristall mit entsprechendem Scanner
SC (A) = Probenstrom
HV (kV) = Anregungsspannung
Gears = die der maximalen Intensität entsprechende, am Scanner einzustellende Wellenlänge (in Å) für die zu bestimmenden Elemente

Ergänzung: Na wurde für die 7 kb - Proben mit einem RbAP-Kristall (Wellenlänge = 1,8392 Å) gemessen, der eine höhere Impulsrate gewährleistet.

(aus BOESE, 1973)

C) BESTIMMUNG KOTEKTISCHER GRANITISCHER SCHMELZEN MIT DER ELEKTRONENSTRAHLMIKROSONDE ARL EMX

1) Standardauswahl und Meßkontrolle

Wie bereits in meiner Diplomarbeit dargelegt, ist die Auswahl geeigneter Standards zur Erzielung repräsentativer Versuchsergebnisse von wesentlicher Bedeutung. Für die Analysen wurden daher dieselben Feldspatgläser als Standards benutzt, die sich bereits im Rahmen meiner Diplomarbeit bewährt hatten und die sich aufgrund ihrer Ähnlichkeit in der Zusammensetzung mit granitischen Schmelzen geradezu anboten. Außerdem enthielten sie nur die fünf zu bestimmenden Komponenten; auch war ihre Zusammensetzung genau bekannt (siehe Tab. 3).

Komponenten	$Or_{03}Ab_{57}An_{40}$	$Or_{05}Ab_{75}An_{20}$	$Or_{30}Ab_{67}An_{03}$	$Ab_{70}An_{30}$
K_2O	0,51	0,84	5,08	0,00
Na_2O	6,74	8,87	7,92	8,11
CaO	8,06	4,03	0,60	6,29
Al_2O_3	26,30	22,84	19,61	24,83
SiO_2	58,60	63,43	66,79	60,77
Bezeichnung	STOEFFLER 18	STOEFFLER 20	STOEFFLER 27	ABAB

Tab. 3: Zusammensetzung (Gew.%) der verwendeten Standards (aus der Standardliste des Geochemischen Institutes).

Die zu untersuchenden Proben bestanden aus Schmelze (Glas) und kristallinen Restphasen (Q + Pla + Akf oder Pla + Akf oder Q + Akf oder nur Pla).

Zur Kontrolle der Meßgenauigkeit (systematischer Fehler) wurde hier wie im Rahmen meiner Diplomarbeit bei jedem Analysengang ein Standard-Feldspatglas als "unbekannte Probe" mitgemessen.

2) Abdampfkorrektur

Alkalien (hier in erster Linie Na) verdampfen aus Gläsern unter Elektronenbeschuß. Dieser Abdampfeffekt wurde, wie in meiner Diplomarbeit beschrieben, mit Hilfe einer linearen Regression korrigiert. Da nun das Natrium aus Gläsern mehr abdampft als aus Mineralen, konnte diese Tatsache als Kontrollkriterium dazu dienen, festzustellen, ob der Elektronenstrahl bei der Messung noch auf dem markierten Punkt des zu untersuchenden Glasanteils der Probe saß, oder bereits auf einer kristallinen Restphase.

3) Analysenfehler

In meiner Diplomarbeit konnten aufgrund einer Berechnung der Standardabweichung aus mehreren Messungen einer beliebigen Probe für die fünf zu bestimmenden Komponenten Angaben über die Fehlergrenze bei der Darstellung granitischer Schmelzen (CIPW-Norm), die ihren darstellenden Punkt in der Nähe der kotektischen Linie des granitischen Systems haben, gemacht werden (siehe Tab. 4).

Probe (Gew.%)	Zusammensetzung (Gew.%)	Standardabweichung	Probe (Gew.%) mit Fehlergrenze
q = 30	SiO_2 = 74,41	± 0,35	q = 30 ± 1
or = 36	Al_2O_3 = 14,75	± 0,17	or = 36 ± 1
ab = 25	CaO = 1,81	± 0,08	ab = 25 ± 1
an = 9	Na_2O = 2,95	± 0,09	an = 9 ± 0,5
	K_2O = 6,08	± 0,16	

Tab. 4: Angabe der Fehlergrenze bei der Darstellung einer granitischen Schmelze (CIPW-Norm) im System Q-Ab-Or-An(-H_2O).
(aus BOESE, 1973)

D) ERGEBNISSE

Da weder der An-Gehalt noch der Temperaturverlauf entlang der kotektischen Linie P-E_5, noch die Lage der beiden kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V hinsichtlich ihrer Höhe im Tetraeder bekannt sind, wurde hierzu eine Reihe von Versuchen durchgeführt. Besonderes Interesse galt dabei dem petrogenetisch besonders wichtigen Raum um die untere, d.h. die Ab-reichere Hälfte der kotektischen Linie P-E_5 im Tetraeder.

In Tabelle 5 sind die Ausgangsmischungen aller durchgeführten Schmlezversuche und in Abbildung 5 - der Übersicht halber - lediglich die Zentralprojektionen der Ausgangsmischungen bei 5 kb H_2O-Druck in das Grunddreieck des Tetraeders dargestellt. In dieser Abbildung bezeichnen die vier dicker gezeichneten Punkte die Eutektika (mit Angabe ihrer Eutekttemperatur) und die drei gekrümmten Linien innerhalb des Dreiecks die Feldergrenzen der Ausscheidung der drei festen Phasen (aus LUTH, 1964).

Wie erwähnt, wurden zur weiteren Bestimmung nur die Proben verwendet, in denen röntgenographisch nicht mehr als 20 % kristalliner Rest nachweisbar war. Diese sind in Tabelle 6 für die Bestimmung der kotektischen Linie P-E_5 bei 5 kb H_2O-Druck, in den Tabellen 7 und 8 für die Festlegung der Isothermen bei 5 kb H_2O-Druck und Temperaturen von 670 bzw. 685 °C auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V, sowie in den Tabellen 9 und 10 für die Festlegung der Isothermen bei 5 kb H_2O-Druck und Temperaturen von ebenfalls 670 bzw. 685 °C auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V zusammengestellt. Die Tabellen 11, 12, 13 und 14 zeigen analog die Ergebnisse zur Festlegung der Isothermen bei 7 kb H_2O-Druck und Temperaturen von 655 bzw. 670 °C auf den gleichen kotektischen Flächen. In der Tabelle 15 ist eine Probe angegeben, die zur Festlegung des Isothermenverlaufs im Raum des Tetraeders (bei 5 kb H_2O-Druck und 685 °C) dienen soll.

Die tabellierten Ergebnisse (Schmelzzusammensetzungen "S") sind in Abbildung 6 für die Bestimmung der kotektischen Linie P-E_5 bei 5 kb H_2O-Druck, in den Abbildungen 7 und 8 für die

Festlegung der Isothermen bei 5 kb H_2O-Druck und in den Abbildungen 9 und 10 für 7 kb H_2O-Druck graphisch zum Ausdruck gebracht.

In Abbildung 6 sind die Temperaturen und der An-Gehalt entlang der kotektischen Linie P-E_5 für 5 kb H_2O-Druck in eckigen bzw. runden Klammern mit eingetragen. Werte für P = (0) und E_5' = (14) (aus WINKLER, 1974). In den weiteren Abbildungen sind der Übersicht halber nur noch in runden Klammern die An- bzw. Q-Gehalte (in Gew.%) der entsprechenden Schmelze "S" vermerkt.

Die Darstellung der Versuchsergebnisse in der Zentralprojektion - einmal für das Dreieck Q-Or-Ab und zum anderen für das Dreieck Or-Ab-An - wurde gewählt, weil man bei Verwendung dieser Art der Projektion (im Unterschied zur Parallelprojektion) und bei Angabe der nicht zur Darstellung kommenden 4 ten Komponente (An bzw. Q) auf das Verhältnis or:ab:an/q:or:ab rückrechnen kann. Außerdem ist diese Art der Projektion anschaulicher.

Ein Beispiel: Für den darstellenden Punkt der Schmelze "S" mit dem Q-Gehalt von (34), bezogen auf q+or+ab+an= =100, läßt sich zunächst aus dem Konzentrationsdreieck sein Verhältnis von or : ab : an ablesen; es ist or : ab : an = 45 : 41 : 14.
Bildet man den Faktor $\frac{100 - 34}{100} = 0{,}66$ und multipliziert damit das obige Dreieckskoordinatenverhältnis von or : ab : an, so kommt man zu

or : ab : an = 30 : 27 : 9, bzw.

q : or : ab : an = 34 : 30 : 27 : 9.

Tab. 5: Zusammenstellung der Ausgangsmischungen aller durchgeführten Schmelzversuche mit ihren nachweisbaren Phasen.

Erläuterung: L = Schmelze
A = Alkalifeldspat
P = Plagioklas
Q = Quarz
X = gut nachweisbar
O = noch nachweisbar
? = nicht mehr eindeutig nachweisbar
- = nicht mehr vorhanden

q = SiO_2
or = $KAlSi_3O_8$
ab = $NaAlSi_3O_8$
an = $CaAl_2Si_2O_8$

Nr.	q	or	ab	an	q	or	ab	P_{H_2O} (kb)	T (°C)	Phasen L	A	P	Q
1	25	41	25	9	28	45	27	5	670	X	O	X	-
2	20	45	26	9	22	50	28	5	670	X	X	X	-
14	20	45	26	9	22	50	28	5	685	X	X	X	-
3	20	31	42	7	22	33	45	5	670	X	O	O	-
25	20	31	42	7	22	33	45	5	685	X	-	O	-
115	20	31	42	7	22	33	45	7	655	X	O	O	-
4	20	36	38	6	21	38	41	5	670	X	O	X	-
24	20	36	38	6	21	38	41	5	685	X	O	O	-
5	30	19	44	7	32	21	47	5	665	X	X	-	X
6	40	36	18	6	43	38	19	5	665	X	X	-	X
7	37	32	23	8	40	35	25	5	665	X	-	O	O
8	35	27	28	10	39	30	31	5	660	X	-	O	X
9	35	32	24	9	39	35	26	5	670	X	-	O	-
10	30	22	42	6	32	24	44	5	660	X	-	O	O
11	20	41	29	10	22	45	33	5	670	X	X	X	-
18	20	41	29	10	22	45	33	5	685	X	X	X	-
12	15	41	32	12	17	46	37	5	670	X	X	X	-
19	15	41	32	12	17	46	37	5	685	X	X	X	-
13	15	29	49	7	16	31	53	5	670	X	O	X	-
20	15	29	49	7	16	31	53	5	685	X	O	O	-
101	15	29	49	7	16	31	53	7	670	X	O	O	-
15	30	36	25	9	33	40	27	5	670	X	O	O	-
16	10	45	39	6	11	48	41	5	685	X	X	X	-
17	10	30	53	7	11	32	57	5	685	X	O	X	-
21	25	34	32	9	27	37	36	5	670	X	O	O	-

Tab. 5: Fortsetzung.

Nr.	q	or	ab	an	q	or	ab	P_{H_2O} (kb)	T (°C)	Phasen L	A	P	Q
22	25	34	32	9	27	37	36	5	685	X	O	O	-
23	25	40	26	9	27	44	29	5	685	X	O	O	-
26	30	28	36	6	32	30	38	5	670	X	-	O	-
27	25	34	32	9	28	37	35	5	670	X	O	O	-
110	25	34	32	9	28	37	35	7	655	X	O	O	-
28	30	31	28	11	34	35	31	5	670	X	O	O	O
29	22	31	36	11	25	35	40	5	670	X	O	O	-
109	22	31	36	11	25	35	40	7	655	X	O	O	-
30	30	38	24	8	33	41	26	5	685	X	-	-	-
31	23	33	36	8	25	36	39	5	670	X	O	X	-
32	20	34	36	10	22	38	40	5	685	X	O	O	-
102	20	34	36	10	22	38	40	7	670	X	O	O	-
33	33	35	26	6	35	37	28	5	685	X	-	-	-
36	33	35	26	6	35	37	28	5	670	X	O	-	O
111	33	35	26	6	35	37	28	7	655	X	O	-	O
34	33	42	19	6	35	45	20	5	685	X	?	-	O
119	33	42	19	6	35	45	20	7	670	X	O	-	-
35	35	38	20	7	38	41	21	5	670	X	O	O	X
40	35	38	20	7	38	41	21	5	685	X	?	-	O
107	35	38	20	7	38	41	21	7	670	X	?	-	?
37	30	22	43	5	32	23	45	5	655	X	O	O	O
38	32	27	35	6	34	29	37	5	660	X	O	O	O
39	30	41	14	15	35	48	17	5	685	X	O	O	-
41	16	22	59	3	16	23	61	5	685	X	O	X	-
42	20	23	55	2	20	24	56	5	670	X	O	X	-
43	20	27	48	5	21	28	51	5	670	X	O	O	-
114	20	27	48	5	21	28	51	7	655	X	O	O	-
44	16	35	44	5	17	37	46	5	685	X	X	X	-
45	18	34	43	5	19	36	45	5	685	X	O	X	-
46	33	33	31	3	34	34	32	5	670	X	O	-	O
112	33	33	31	3	34	34	32	7	655	X	O	-	O
47	35	36	14	15	41	42	17	5	685	X	O	O	O
118	35	36	14	15	41	42	17	7	670	X	O	?	O
48	19	32	42	7	20	35	45	5	685	X	O	O	-

Tab. 5: Fortsetzung.

Nr.	q	or	ab	an	q	or	ab	P_{H_2O} (kb)	T (°C)	Phasen L	A	P	Q
104	19	32	42	7	20	35	45	7	670	X	O	O	-
49	17	31	49	3	17	32	51	5	685	X	O	O	-
50	20	27	50	3	20	28	52	5	670	X	O	O	-
51	20	31	44	5	21	33	46	5	670	X	O	X	-
52	33	33	32	2	34	34	32	5	670	X	O	-	O
120	33	33	32	2	34	34	32	7	655	X	O	-	O
53	35	40	13	12	40	46	14	5	685	X	O	-	?
117	35	40	13	12	40	46	14	7	670	X	O	-	O
54	35	39	23	3	36	40	24	5	685	X	O	-	O
116	35	39	23	3	36	40	24	7	670	X	O	-	O
103	24	38	18	20	30	48	22	7	670	X	O	O	-
105	22	36	17	15	26	42	32	7	670	X	O	O	-
108	29	34	27	10	32	38	30	7	655	X	O	O	O
121	29	34	27	10	32	38	30	5	685	X	-	O	-
113	33	30	27	10	37	33	30	7	655	X	O	-	O

Erläuterungen zu den Tabellen 6 - 15:

Die Schmelzzusammensetzungen "S", die mit der Mikrosonde ermittelt wurden, sind wasserfrei gerechnet; die Na_2O-Werte abdampfkorrigiert.

q = SiO_2
or = $KAlSi_3O_8$
ab = $NaAlSi_3O_8$
an = $CaAl_2Si_2O_8$

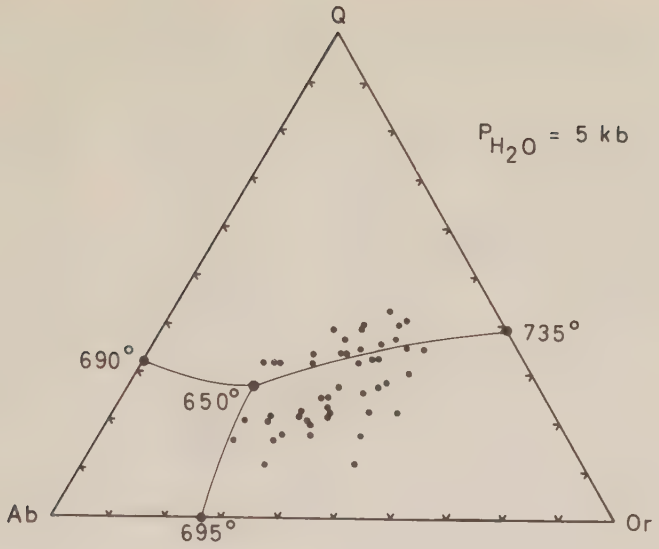


Abb. 5: Zentralprojektion der Ausgangsmischungen der bei 5 kb H_2O-Druck durchgeführten Schmelzversuche (kleine ausgefüllte Kreise) in das Grunddreieck des Tetraeders.

Die großen ausgefüllten Kreise stellen die Eutektika (650 °C = P, 690 °C = E_1, 695 °C = P_1 und 735 °C = E_3) dar (siehe auch Abb. 1). Die drei gekrümmten Linien innerhalb des Dreiecks bedeuten die Feldergrenzen der Ausscheidung der drei festen Phasen. Beides gilt für das An-freie System.
(aus LUTH et al., 1964)

Da die Ausgangsmischungen für die Versuche bei 7 kb H_2O-Druck ähnlich liegen, wurde auf ihre Darstellung verzichtet.

Nr. / T (°C)	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
37 / 655	SiO_2 = 76,08 Al_2O_3 = 14,13 CaO = 0,91 Na_2O = 5,11 K_2O = 3,77	q = 30 or = 22 ab = 43 an = 5	q = 32 or = 23 ab = 45	or = 31 ab = 62 an = 7	SiO_2 = 75,48 Al_2O_3 = 14,41 CaO = 0,80 Na_2O = 5,53 K_2O = 3,78	q = 27 or = 22 ab = 47 an = 4	q = 28 or = 23 ab = 49	or = 30 ab = 65 an = 5
38 / 660	SiO_2 = 76,20 Al_2O_3 = 13,89 CaO = 1,15 Na_2O = 4,14 K_2O = 4,62	q = 32 or = 27 ab = 35 an = 6	q = 34 or = 29 ab = 37	or = 40 ab = 51 an = 9	SiO_2 = 76,36 Al_2O_3 = 13,77 CaO = 1,02 Na_2O = 4,22 K_2O = 4,63	q = 32 or = 27 ab = 36 an = 5	q = 34 or = 28 ab = 38	or = 40 ab = 53 an = 7
28 / 670	SiO_2 = 74,19 Al_2O_3 = 15,06 CaO = 2,12 Na_2O = 3,30 K_2O = 5,33	q = 30 or = 31 ab = 28 an = 11	q = 34 or = 35 ab = 31	or = 44 ab = 40 an = 16	SiO_2 = 75,55 Al_2O_3 = 14,47 CaO = 1,87 Na_2O = 3,14 K_2O = 4,97	q = 34 or = 30 ab = 27 an = 9	q = 37 or = 33 ab = 30	or = 45 ab = 41 an = 14
47 / 685	SiO_2 = 74,42 Al_2O_3 = 14,81 CaO = 3,02 Na_2O = 1,66 K_2O = 6,09	q = 35 or = 36 ab = 14 an = 15	q = 41 or = 42 ab = 17	or = 55 ab = 22 an = 23	SiO_2 = 74,92 Al_2O_3 = 14,35 CaO = 2,88 Na_2O = 1,78 K_2O = 6,07	q = 35 or = 36 ab = 15 an = 14	q = 41 or = 42 ab = 17	or = 55 ab = 22 an = 23

Tab. 6: Ergebnisse zur Festlegung der kotektischen Linie P-E_5 im System Q-Ab-Or-An(-H_2O) für 5 kb P_{H_2O}.

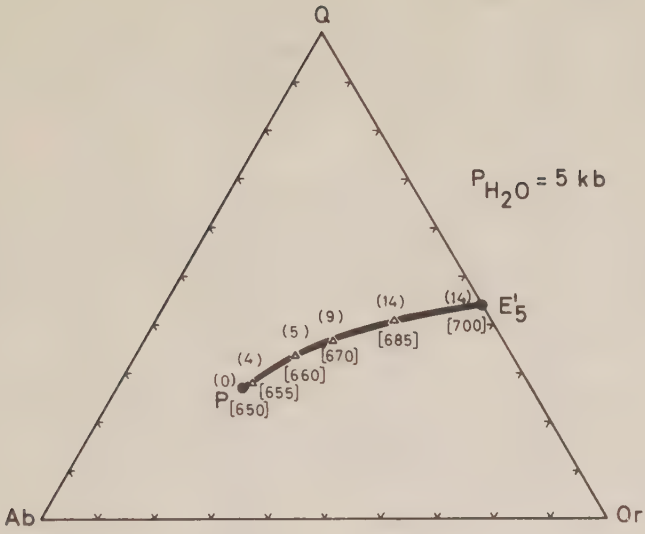


Abb. 6: Zentralprojektion der kotektischen Linie P-E_5 in die Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders.
In ( ) Gew.% An-Gehalt, bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.
In [ ] Temperaturen entlang der kotektischen Linie P-E_5.
△= mit der Mikrosonde bestimmte Schmelzzusammensetzungen "S" zur Festlegung der genauen Lage der kotektischen Linie bei 5 kb H_2O-Druck.
Schmelze der Probe S 37 = (4)
Schmelze der Probe S 38 = (5)
Schmelze der Probe S 28 = (9)
Schmelze der Probe S 47 = (14)

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab
43	SiO_2 = 72,64 Al_2O_3 = 16,11 CaO = 1,01 Na_2O = 5,67 K_2O = 4,57	q = 20 or = 27 ab = 48 an = 5	q = 21 or = 28 ab = 51	SiO_2 = 73,64 Al_2O_3 = 15,53 CaO = 0,91 Na_2O = 5,40 K_2O = 4,52	q = 22 or = 27 ab = 46 an = 5	q = 23 or = 28 ab = 49
3	SiO_2 = 72,02 Al_2O_3 = 16,36 CaO = 1,36 Na_2O = 4,93 K_2O = 5,33	q = 20 or = 31 ab = 42 an = 7	q = 22 or = 33 ab = 45	SiO_2 = 73,23 Al_2O_3 = 15,80 CaO = 1,20 Na_2O = 4,80 K_2O = 4,97	q = 24 or = 29 ab = 41 an = 6	q = 26 or = 31 ab = 43
29	SiO_2 = 71,60 Al_2O_3 = 16,67 CaO = 2,18 Na_2O = 4,22 K_2O = 5,33	q = 22 or = 31 ab = 36 an = 11	q = 25 or = 35 ab = 40	SiO_2 = 73,17 Al_2O_3 = 15,95 CaO = 1,39 Na_2O = 4,21 K_2O = 5,28	q = 26 or = 31 ab = 36 an = 7	q = 28 or = 33 ab = 39
27	SiO_2 = 72,92 Al_2O_3 = 15,75 CaO = 1,81 Na_2O = 3,81 K_2O = 5,71	q = 25 or = 34 ab = 32 an = 9	q = 28 or = 37 ab = 35	SiO_2 = 74,40 Al_2O_3 = 14,77 CaO = 1,53 Na_2O = 3,82 K_2O = 5,48	q = 28 or = 32 ab = 32 an = 8	q = 30 or = 35 ab = 35
15	SiO_2 = 74,41 Al_2O_3 = 14,75 CaO = 1,81 Na_2O = 2,95 K_2O = 6,08	q = 30 or = 36 ab = 25 an = 9	q = 33 or = 40 ab = 27	SiO_2 = 74,99 Al_2O_3 = 14,39 CaO = 1,76 Na_2O = 3,22 K_2O = 5,64	q = 31 or = 33 ab = 27 an = 9	q = 34 or = 36 ab = 30

Tab. 7: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 670 °C und P_{H_2O} = 5 kb auf der kotektischen Fläche Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab
20	SiO_2 = 70,37 Al_2O_3 = 17,49 CaO = 1,51 Na_2O = 5,77 K_2O = 4,86	q = 15 or = 29 ab = 49 an = 7	q = 16 or = 31 ab = 53	SiO_2 = 71,59 Al_2O_3 = 17,22 CaO = 0,73 Na_2O = 5,75 K_2O = 4,71	q = 19 or = 28 ab = 49 an = 4	q = 20 or = 29 ab = 51
48	SiO_2 = 71,67 Al_2O_3 = 16,54 CaO = 1,36 Na_2O = 4,95 K_2O = 5,48	q = 19 or = 32 ab = 42 an = 7	q = 20 or = 35 ab = 45	SiO_2 = 72,78 Al_2O_3 = 16,02 CaO = 1,14 Na_2O = 4,86 K_2O = 5,20	q = 22 or = 31 ab = 41 an = 6	q = 23 or = 33 ab = 44
32	SiO_2 = 70,97 Al_2O_3 = 16,98 CaO = 2,12 Na_2O = 4,22 K_2O = 5,71	q = 20 or = 34 ab = 36 an = 10	q = 22 or = 38 ab = 40	SiO_2 = 72,72 Al_2O_3 = 15,93 CaO = 1,47 Na_2O = 4,18 K_2O = 5,7o	q = 24 or = 34 ab = 35 an = 7	q = 26 or = 36 ab = 38
23	SiO_2 = 72,65 Al_2O_3 = 15,67 CaO = 1,82 Na_2O = 3,01 K_2O = 6,85	q = 25 or = 40 ab = 26 an = 9	q = 27 or = 44 ab = 29	SiO_2 = 73,42 Al_2O_3 = 15,53 CaO = 1,73 Na_2O = 3,00 K_2O = 6,32	q = 28 or = 37 ab = 26 an = 9	q = 31 or = 41 ab = 28
39	SiO_2 = 72,68 Al_2O_3 = 15,73 CaO = 3,03 Na_2O = 1,71 K_2O = 6,85	q = 30 or = 41 ab = 14 an = 15	q = 35 or = 48 ab = 17	SiO_2 = 73,15 Al_2O_3 = 15,53 CaO = 2,97 Na_2O = 2,00 K_2O = 6,35	q = 31 or = 38 ab = 17 an = 14	q = 36 or = 44 ab = 20

Tab. 8: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 685 °C und P_{H_2O} = 5 kb auf der kotektischen Fläche Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.

(Erläuterung siehe S. 22)

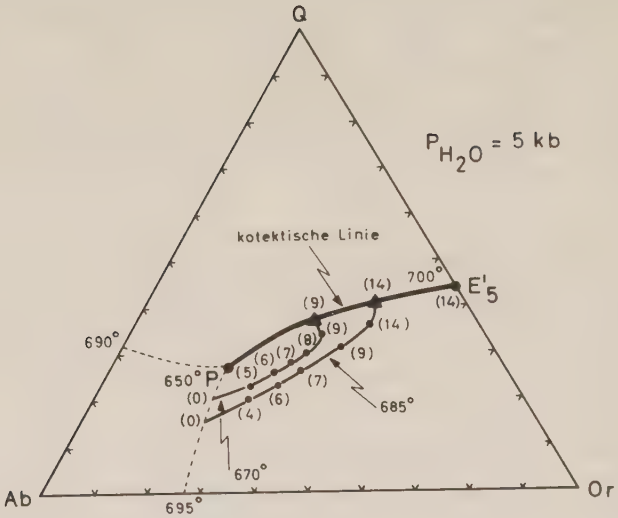


Abb. 7: Zentralprojektion der Versuchsergebnisse in die Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders zur Bestimmung der Isothermen für 670 bzw. 685 °C auf der kotektischen Fläche Plagioklas - - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase. Es ist ferner die Projektion ($P-E_5'$) der kotektischen Linie $P-E_5$ aus der Abbildung 6 mit eingezeichnet.
In ( ) Gew.% An-Gehalt, bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.
● = Schmelzzusammensetzungen S auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V (vgl. Tab. 7 und 8), welche die Isothermen bei 670 bzw. 685 °C bestimmen.
▲ = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Linie $P-E_5$ (aus Abb. 6).
Gestrichelte Linien = kotektische Linien im An-freien System die dritte Linie - zwischen Or-reichem Alkalifeldspat und Quarz - (siehe dazu Abb. 5) ist der besseren Übersicht halber nicht mit eingetragen.
Der An-Gehalt der kotektischen Linie beträgt im Punkt P = = 0 Gew.%, im Punkt E_5 (in der Projektion = E_5') = 14 Gew.%. Die Anfangspunkte (An-Gehalt = 0 Gew.%) der beiden Isothermen im An-freien System sind aus der Arbeit von LUTH et al. (1964) mit guter Genauigkeit ablesbar.

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Schmelzzusammensetzungen S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
52	SiO_2 = 77,35 Al_2O_3 = 12,91 CaO = 0,30 Na_2O = 3,81 K_2O = 5,63	q = 33 or = 33 ab = 32 an = 2	q = 34	or = 49 ab = 48 an = 3	SiO_2 = 76,81 Al_2O_3 = 13,27 CaO = 0,31 Na_2O = 3,99 K_2O = 5,62	q = 31 or = 33 ab = 34 an = 2	q = 31	or = 48 ab = 49 an = 3
46	SiO_2 = 76,97 Al_2O_3 = 13,17 CaO = 0,60 Na_2O = 3,63 K_2O = 5,63	q = 33 or = 33 ab = 31 an = 3	q = 34	or = 49 ab = 46 an = 5	SiO_2 = 76,60 Al_2O_3 = 13,43 CaO = 0,61 Na_2O = 3,83 K_2O = 5,53	q = 32 or = 33 ab = 32 an = 3	q = 33	or = 48 ab = 47 an = 5
36	SiO_2 = 76,13 Al_2O_3 = 13,66 CaO = 1,21 Na_2O = 3,04 K_2O = 5,96	q = 33 or = 35 ab = 26 an = 6	q = 35	or = 52 ab = 39 an = 9	SiO_2 = 75,97 Al_2O_3 = 13,94 CaO = 1,22 Na_2O = 3,32 K_2O = 5,55	q = 33 or = 33 ab = 28 an = 6	q = 35	or = 49 ab = 42 an = 9

Tab. 9: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 670 °C und P_{H_2O} = 5 kb auf der kotektischen Fläche Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
54	SiO_2 = 77,30 Al_2O_3 = 12,77 CaO = 0,66 Na_2O = 2,72 K_2O = 6,55	q = 35 or = 39 ab = 23 an = 3	q = 36 or = 40 ab = 24	or = 60 ab = 35 an = 5	SiO_2 = 76,82 Al_2O_3 = 13,11 CaO = 0,67 Na_2O = 3,16 K_2O = 6,24	q = 33 or = 37 ab = 27 an = 3	q = 34 or = 38 ab = 28	or = 55 ab = 40 an = 5
34	SiO_2 = 75,84 Al_2O_3 = 13,58 CaO = 1,21 Na_2O = 2,21 K_2O = 6,55	q = 33 or = 42 ab = 19 an = 6	q = 35 or = 45 ab = 20	or = 63 ab = 28 an = 9	SiO_2 = 76,20 Al_2O_3 = 13,61 CaO = 1,26 Na_2O = 2,43 K_2O = 6,53	q = 35 or = 38 ab = 21 an = 6	q = 37 or = 41 ab = 22	or = 58 ab = 33 an = 9
40	SiO_2 = 76,45 Al_2O_3 = 13,34 CaO = 1,33 Na_2O = 2,33 K_2O = 6,55	q = 35 or = 38 ab = 20 an = 7	q = 38 or = 41 ab = 21	or = 58 ab = 31 an = 11	SiO_2 = 76,24 Al_2O_3 = 13,50 CaO = 1,34 Na_2O = 2,39 K_2O = 6,53	q = 35 or = 38 ab = 20 an = 7	q = 38 or = 41 ab = 21	or = 58 ab = 31 an = 11
53	SiO_2 = 75,00 Al_2O_3 = 14,25 CaO = 2,42 Na_2O = 1,48 K_2O = 6,85	q = 35 or = 40 ab = 13 an = 12	q = 40 or = 46 ab = 14	or = 62 ab = 20 an = 18	SiO_2 = 74,50 Al_2O_3 = 14,62 CaO = 2,48 Na_2O = 1,84 K_2O = 6,56	q = 33 or = 39 ab = 16 an = 12	q = 38 or = 44 ab = 18	or = 58 ab = 24 an = 18

Tab. 10: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 685 °C und P_{H_2O} = 5 kb auf der kotektischen Fläche Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)

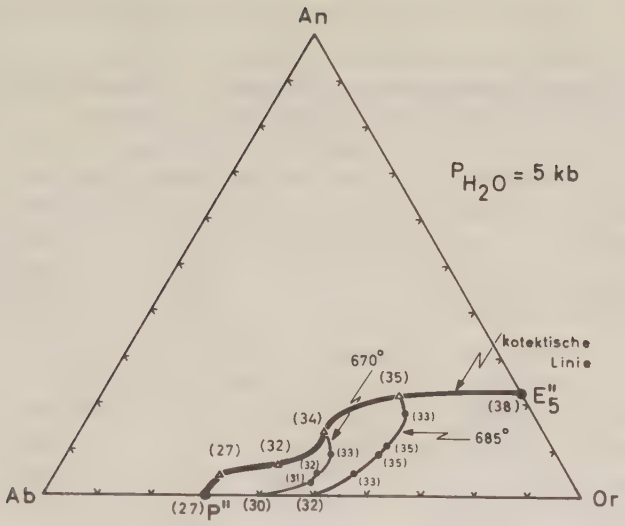


Abb. 8: Zentralprojektion der Versuchsergebnisse auf das Seitensystem Ab-Or-An des Tetraeders zur Bestimmung der Isothermen für 670 bzw. 685 °C auf der kotektischen Fläche Quarz - - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase. Es ist ferner die Projektion (P''-E'_5') der kotektischen Linie P-E_5 mit eingezeichnet.

In ( ) Gew.% Q -Gehalt, bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.

● = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V, welche die Isothermen bei 670 bzw. 685 °C bestimmen (vgl. Tab. 9 und 10).

Δ = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Linie P-E_5 (vgl. Tab. 6).

Die Temperatur von P'' beträgt 650, die von E'_5' 700 °C. Die Anfangspunkte der beiden Isothermen mit Q = 30 bzw. 32 Gew.%, im An-freien System konnten mit guter Genauigkeit der Arbeit von LUTH et al. (1964) entnommen werden.

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab
114	SiO_2 = 72,64 Al_2O_3 = 16,11 CaO = 1,01 Na_2O = 5,67 K_2O = 4,57	q = 20 or = 27 ab = 48 an = 5	q = 21 or = 28 ab = 51	SiO_2 = 73,44 Al_2O_3 = 15,68 CaO = 0,97 Na_2O = 5,52 K_2O = 4,39	q = 22 or = 26 ab = 47 an = 5	q = 23 or = 27 ab = 50
115	SiO_2 = 72,02 Al_2O_3 = 16,36 CaO = 1,36 Na_2O = 4,93 K_2O = 5,33	q = 20 or = 31 ab = 42 an = 7	q = 22 or = 33 ab = 45	SiO_2 = 73,12 Al_2O_3 = 15,75 CaO = 1,33 Na_2O = 4,76 K_2O = 5,04	q = 23 or = 30 ab = 40 an = 7	q = 25 or = 32 ab = 42
109	SiO_2 = 71,60 Al_2O_3 = 16,67 CaO = 2,18 Na_2O = 4,22 K_2O = 5,33	q = 22 or = 31 ab = 36 an = 11	q = 25 or = 35 ab = 40	SiO_2 = 72,89 Al_2O_3 = 16,00 CaO = 1,66 Na_2O = 4,20 K_2O = 5,25	q = 25 or = 31 ab = 36 an = 8	q = 27 or = 34 ab = 39
110	SiO_2 = 72,92 Al_2O_3 = 15,75 CaO = 1,81 Na_2O = 3,81 K_2O = 5,71	q = 25 or = 34 ab = 32 an = 9	q = 28 or = 37 ab = 35	SiO_2 = 73,52 Al_2O_3 = 15,25 CaO = 1,79 Na_2O = 3,76 K_2O = 5,68	q = 26 or = 33 ab = 32 an = 9	q = 29 or = 36 ab = 35
108	SiO_2 = 73,92 Al_2O_3 = 15,12 CaO = 1,99 Na_2O = 3,18 K_2O = 5,79	q = 29 or = 34 ab = 27 an = 10	q = 32 or = 38 ab = 30	SiO_2 = 74,51 Al_2O_3 = 14,92 CaO = 1,93 Na_2O = 3,14 K_2O = 5,50	q = 31 or = 32 ab = 27 an = 10	q = 34 or = 36 ab = 30

Tab. 11: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 655 °C und P_{H_2O} = 7 kb auf der kotektischen Fläche Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.

(Erläuterung siehe S. 22)

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab
101	SiO_2 = 70,37 Al_2O_3 = 17,49 CaO = 1,51 Na_2O = 5,77 K_2O = 4,86	q = 15 or = 29 ab = 49 an = 7	q = 16 or = 31 ab = 53	SiO_2 = 71,19 Al_2O_3 = 17,35 CaO = 1,11 Na_2O = 5,67 K_2O = 4,68	q = 18 or = 28 ab = 48 an = 6	q = 19 or = 30 ab = 51
104	SiO_2 = 71,67 Al_2O_3 = 16,54 CaO = 1,36 Na_2O = 4,95 K_2O = 5,48	q = 19 or = 32 ab = 42 an = 7	q = 20 or = 35 ab = 45	SiO_2 = 72,19 Al_2O_3 = 16,35 CaO = 1,33 Na_2O = 4,90 K_2O = 5,23	q = 21 or = 31 ab = 41 an = 7	q = 22 or = 34 ab = 44
102	SiO_2 = 70,97 Al_2O_3 = 16,98 CaO = 2,12 Na_2O = 4,22 K_2O = 5,71	q = 20 or = 34 ab = 36 an = 10	q = 22 or = 38 ab = 40	SiO_2 = 72,12 Al_2O_3 = 16,42 CaO = 1,58 Na_2O = 4,19 K_2O = 5,69	q = 23 or = 34 ab = 35 an = 8	q = 24 or = 37 ab = 39
105	SiO_2 = 70,25 Al_2O_3 = 17,42 CaO = 3,12 Na_2O = 3,16 K_2O = 6,05	q = 22 or = 36 ab = 27 an = 15	q = 26 or = 42 ab = 32	SiO_2 = 71,86 Al_2O_3 = 16,69 CaO = 2,30 Na_2O = 3,13 K_2O = 6,02	q = 26 or = 36 ab = 27 an = 11	q = 29 or = 41 ab = 30
103	SiO_2 = 69,53 Al_2O_3 = 17,86 CaO = 4,11 Na_2O = 2,10 K_2O = 6,40	q = 24 or = 38 ab = 18 an = 20	q = 30 or = 48 ab = 22	SiO_2 = 71,74 Al_2O_3 = 16,71 CaO = 3,12 Na_2O = 2,07 K_2O = 6,36	q = 29 or = 38 ab = 18 an = 15	q = 34 or = 45 ab = 21

Tab. 12: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 670 °C und P_{H_2O} = 7 kb auf der kotektischen Fläche Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)

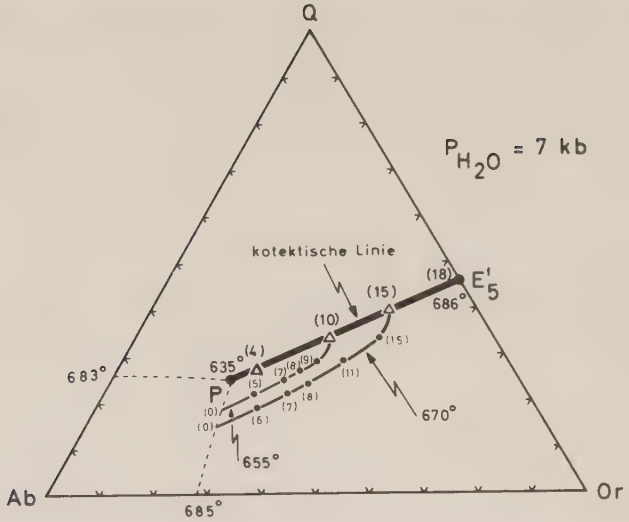


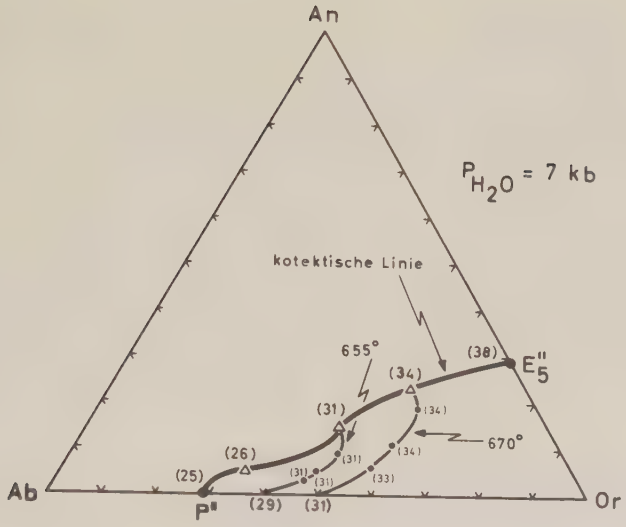
Abb. 9: Zentralprojektion der Versuchsergebnisse in die Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders Q-Ab-Or-An zur Bestimmung der Isothermen bei 655 bzw. 670 °C auf der kotektischen Fläche Plagioklas - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase. Es ist ferner die Projektion ($P-E'_5$) der kotektischen Linie $P-E_5$ (nach MARCOPOULOS) mit eingezeichnet. Der Verlauf dieser projizierten Linie stimmt sehr gut mit dem überein, den WINKLER (1974) angibt (vgl. Abb. 3).
In ( ) Gew.% An-Gehalt, bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.
● = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V (vgl. Tab. 11 und 12), welche die Isothermen bei 655 bzw. 670 °C bestimmen.
Δ = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Linie $P-E_5$ (Schmelze Nr. 108 mit 10 Gew. An-Gehalt aus Tab. 11 und Schmelze Nr. 118 mit 15 Gew.% An-Gehalt aus Tab. 14).
Gestrichelte Linien = kotektische Linien im An-freien System (interpoliert zwischen den Ergebnissen bei 5 und 10 kb H_2O-Druck der Arbeit von LUTH et al., 1964); die dritte Linie (vgl. Abb. 5), zwichen Or-reichem Alkalifeldspat und Quarz, ist der besseren Übersicht halber nicht mit eingezeichnet.
Die Anfangspunkte der beiden Isothermen (An-Gehalt = 0 Gew.%) im An-freien System sowie die beiden Eutekttemperaturen der Systeme Q-Ab($-H_2O$) und Ab-Or($-H_2O$) sind ebenfalls der Arbeit von LUTH et al. (1964) durch Interpolation der Ergebnisse für 5 und 10 kb H_2O-Druck entnommen (Genauigkeit bei der Temperaturangabe für die beiden Eutektika etwa ± 3 °C).
Der An-Gehalt der kotektischen Linie beträgt im Punkt P = = 0 Gew.%, im Punkt E_5 (in der Projektion = E'_5) = 18 Gew.% (aus WINKLER und GHOSE, 1973). Die Temperatur im Punkt P beträgt 635 °C (nach LUTH et al., 1964, sowie nach MARCOPOULOS), die im Punkt E_5 686 °C (aus WINKLER und GHOSE, 1973).

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Schmelzzusammensetzung S (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
120	SiO_2 = 77,35 Al_2O_3 = 12,91 CaO = 0,30 Na_2O = 3,81 K_2O = 5,63	q = 33 or = 33 ab = 32 an = 2	q = 34 or = 34 ab = 32	or = 49 ab = 48 an = 3	SiO_2 = 76,33 Al_2O_3 = 13,74 CaO = 0,31 Na_2O = 4,16 K_2O = 5,46	q = 31 or = 32 ab = 35 an = 2	q = 31 or = 33 ab = 36	or = 46 ab = 51 an = 3
112	SiO_2 = 76,97 Al_2O_3 = 13,17 CaO = 0,60 Na_2O = 3,63 K_2O = 5,63	q = 33 or = 33 ab = 31 an = 3	q = 34 or = 34 ab = 32	or = 49 ab = 46 an = 5	SiO_2 = 76,26 Al_2O_3 = 13,60 CaO = 0,70 Na_2O = 3,91 K_2O = 5,53	q = 31 or = 33 ab = 33 an = 3	q = 32 or = 34 ab = 34	or = 47 ab = 48 an = 5
111	SiO_2 = 76,13 Al_2O_3 = 13,66 CaO = 1,21 Na_2O = 3,04 K_2O = 5,96	q = 33 or = 35 ab = 26 an = 6	q = 35 or = 37 ab = 28	or = 52 ab = 39 an = 9	SiO_2 = 75,71 Al_2O_3 = 13,82 CaO = 1,28 Na_2O = 3,43 K_2O = 5,76	q = 31 or = 34 ab = 29 an = 6	q = 33 or = 36 ab = 31	or = 49 ab = 42 an = 9
108	SiO_2 = 73,92 Al_2O_3 = 15,12 CaO = 1,99 Na_2O = 3,18 K_2O = 5,79	q = 29 or = 34 ab = 27 an = 10	q = 32 or = 38 ab = 30	or = 48 ab = 38 an = 14	SiO_2 = 74,51 Al_2O_3 = 14,92 CaO = 1,93 Na_2O = 3,14 K_2O = 5,50	q = 31 or = 32 ab = 27 an = 10	q = 34 or = 36 ab = 30	or = 47 ab = 39 an = 14

Tab. 13: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 655 °C und P_{H_2O} = 7 kb auf der kotektischen Fläche Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)

Nr.	Ausgangszusammensetzung (Gew.%)				Schmelzzusammensetzung S (Gew.%)			
	Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
116	SiO_2 = 77,30 Al_2O_3 = 12,77 CaO = 0,66 Na_2O = 2,72 K_2O = 6,55	q = 35 or = 39 ab = 23 an = 3	q = 36 or = 40 ab = 24	or = 60 ab = 35 an = 5	SiO_2 = 76,79 Al_2O_3 = 13,08 CaO = 0,80 Na_2O = 2,94 K_2O = 6,39	q = 33 or = 38 ab = 25 an = 4	q = 34 or = 40 ab = 26	or = 57 ab = 37 an = 6
107	SiO_2 = 76,45 Al_2O_3 = 13,34 CaO = 1,33 Na_2O = 2,33 K_2O = 6,55	q = 35 or = 38 ab = 20 an = 7	q = 38 or = 41 ab = 21	or = 58 ab = 31 an = 11	SiO_2 = 75,89 Al_2O_3 = 13,72 CaO = 1,52 Na_2O = 2,38 K_2O = 6,49	q = 34 or = 38 ab = 20 an = 8	q = 37 or = 41 ab = 22	or = 58 ab = 31 an = 11
117	SiO_2 = 75,00 Al_2O_3 = 14,25 CaO = 2,42 Na_2O = 1,48 K_2O = 6,85	q = 35 or = 40 ab = 13 an = 12	q = 40 or = 46 ab = 14	or = 62 ab = 20 an = 18	SiO_2 = 74,45 Al_2O_3 = 14,76 CaO = 2,51 Na_2O = 1,72 K_2O = 6,56	q = 34 or = 39 ab = 15 an = 12	q = 39 or = 44 ab = 17	or = 59 ab = 22 an = 19
118	SiO_2 = 74,42 Al_2O_3 = 14,81 CaO = 3,02 Na_2O = 1,66 K_2O = 6,09	q = 35 or = 36 ab = 14 an = 15	q = 41 or = 42 ab = 17	or = 55 ab = 22 an = 23	SiO_2 = 74,17 Al_2O_3 = 14,96 CaO = 3,11 Na_2O = 1,71 K_2O = 6,05	q = 34 or = 36 ab = 15 an = 15	q = 40 or = 42 ab = 18	or = 55 ab = 22 an = 23

Tab. 14: Ergebnisse zur Festlegung der Isotherme bei T = 670 °C und P_{H_2O} = 7 kb auf der kotektischen Fläche Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase.
(Erläuterung siehe S. 22)



bb. 10: Zentralprojektion der Versuchsergebnisse auf das Seitensystem Ab-Or-An des Tetraeders Q-Ab-Or-An zur Bestimmung der Isothermen für 655 bzw. 670 °C auf der kotektischen Fläche Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase. Es ist ferner die Projektion (P''-E_5'') der kotektischen Linie P-E_5 mit eingezeichnet.
In ( ) Gew.% Q-Gehalt, bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.
● = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V (vgl. Tab. 13 und 14), welche die Isothermen bei 655 bzw. 670 °C bestimmen.
Δ = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Linie P-E_5 (nach MARCOPOULOS).
Die Temperatur von P (in der Projektion P'') beträgt etwa 635 °C (nach LUTH et al., 1964, sowie nach MARCOPOULOS), die von E_5 (in der Projektion E_5'') 686 ± 7 °C (nach WINKLER und GHOSE, 1973).
Die Anfangspunkte der beiden Isothermen auf der Ab-Or-Kante (in der Projektion) und ihre Q-Gehalte von 29 bzw. 31 Gew.% konnten mit einer Genauigkeit von etwa ± 1 Gew.% durch Interpolation der Ergebnisse für 5 und 10 kb H_2O-Druck aus der Arbeit von LUTH et al. (1964) entnommen werden.

Nr.	P_{H_2O} (kb) / T (°C)	Ausgangszusammensetzung (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an	Schmelzzusammensetzung "S" (Gew.%) Oxide	CIPW	q:or:ab	or:ab:an
121	5	SiO_2 = 73,92 Al_2O_3 = 15,12 CaO = 1,99 Na_2O = 3,18 K_2O = 5,79	q = 29 or = 34 ab = 27 an = 10	q = 32 or = 38 ab = 30	or = 48 ab = 38 an = 14	SiO_2 = 74,01 Al_2O_3 = 15,08 CaO = 1,96 Na_2O = 3,14 K_2O = 5,81	q = 29 or = 34 ab = 27 an = 10	q = 32 or = 38 ab = 30	or = 48 ab = 38 an = 14
	685								

Tab. 15: Ergebnis zur Festlegung des Isothermenverlaufs im Raum des Tetraeders Q-Ab-Or-An. Die Schmelze s 121 steht dabei mit Plagioklas und Gasphase im Gleichgewicht. (Erläuterung siehe S. 22)

E) DISKUSSION

Zunächst galten die Versuchsergebnisse der Festlegung des Verlaufs der kotektischen Linie P-E_5 bei einem H_2O-Druck von 5 kb und zwar vor allem hinsichtlich des An-Gehaltes und der Temperatur. Wie der Vergleich der Abbildungen 6 und 3 zeigt, stimmt die Projektion dieser Linie in die Q-Ab-Or-Ebene des Tetraeders Q-Ab-Or-An sehr gut mit der überein, wie sie WINKLER (1974) angibt. Die Projektion (P''-E_5'') dieser Linie auf die Tetraederfläche Ab-Or-An jedoch brachte ein neues und unerwartetes Ergebnis, da sie in Bezug auf ihren An-Gehalt einen unsteten Verlauf hat (siehe Abb. 8).

Die Temperatur eines Schmelzbeginns im An-freien System beträgt nach LUTH et al. (1964) für 5 kb H_2O-Druck etwa 650 °C. Durch die Schmelze der Probe 37 (mit 4 Gew.% An-Gehalt und einer Temperatur von 655 °C), die auf der kotektischen Linie P-E_5 liegt und eine Bildungstemperatur von 655 °C hat (der Fehler bei der Temperaturangabe beträgt hier, wie bei allen anderen diesbezüglichen Angaben ± 3 °C), konnte dies bestätigt werden. An diesem Reaktionsprodukt beträgt der für die Analysen mit der Elektronenstrahlmikrosonde angestrebte Glasanteil etwa 80 Gew.%, was durch die drei röntgenographisch noch identifizierbaren Restphasen Quarz, Plagioklas und Alkalifeldspat untermauert werden konnte. Der sehr kleine Temperaturschritt vom Punkt P zum Punkt 4 An/655 °C (siehe Abb. 6) von lediglich 5 °C führt zu einer relativ starken An-Aufnahme der Schmelze, d.h. zu einem kurzen steilen Anstieg der kotektischen Linie P-E_5 in ihrem untersten Abschnitt, wie die Abbildung 8 zeigt.

Geht man von der An-freien Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders aus, so nimmt, wie oben erwähnt, mit nur sehr wenig steigender Temperatur von 5 °C der An-Gehalt innerhalb des Q-Ab-Or-An-Tetraeders entlang der kotektischen Linie P-E_5 von 0 auf 4 Gew.% relativ stark zu. Mit weiterem geringen Temperaturanstieg (von 655 auf 660 °C) ändert sich der An-Gehalt über eine relativ weite Strecke auf der kotektischen Linie mit einem Anstieg von 4 auf 5 Gew.% nur sehr wenig. Erst etwas unterhalb von 670 °C kommt es erneut zu einem relativ starken Anstieg im An-Gehalt;

dieser erreicht bei 670 °C einen Wert von 9 und bei 685 °C einen Wert von 14 Gew.%. Mit weiterer Erhöhung der Temperatur bleibt der An-Gehalt entlang der kotektischen Linie P-E_5 praktisch unverändert, und damit auch die Höhe der kotektischen Linie über der Basisebene des Tetraeders, wie die Abbildung 8 zeigt.

Die beinahe kontinuierliche Veränderung des Verhältnisses Q:Ab:Or mit steigender Temperatur (bei gleichbleibendem Druck) zeigt die Abbildung 6; dieser Verlauf (P-E_5') der kotektischen Linie mußte erwartet werden, während der Verlauf (P''-E_5'') der kotektischen Linie hinsichtlich ihres unregelmäßig ansteigenden An-Gehaltes (siehe Abb. 8) überraschte. Belegt wird dieser unerwartete Verlauf der kotektischen Linie durch die Schmelzen S 38 und S 47 (mit T = 660 °C und An = 5 Gew.%, bzw T = 685 °C und An = 14 Gew.%), die beide fast vollständig aufgeschmolzen waren; es konnten röntgenographisch gerade noch die drei kristallinen Restphasen Quarz, Plagioklas und Alkalifeldspat nachgewiesen werden.

In weiteren Versuchen wurden kotektische Schmelzzusammensetzungen analysiert, die zur Bestimmung von Isothermen auf den zu untersuchenden zwei kotektischen Flächen Plagioklas - - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase und Quarz - Alkalifeldspat - Schmelze - Gasphase dienen.

Zunächst werden die Versuchsergebnisse der Proben diskutiert, deren Schmelzen ihren darstellenden Punkt auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V für einen H_2O-Druck von 5 kb und einer Temperatur von 670 bzw. 685 °C haben. Sie sind in den Tabellen 7 (für 670 °C) und 8 (für 685 °C), sowie in Abbildung 7 zusammengefaßt bzw. dargestellt. Bei diesen analysierten Proben standen die Schmelzen mit Plagioklas, Alkalifeldspat (und einer Gasphase) im Gleichgewicht. Wie die Abbildung 7 zeigt, verläuft die 670 ° - Isotherme mit einem gleichmäßigen Anstieg in ihrem An-Gehalt (von 5 auf 9 Gew.%) vom Punkt (5) bis zum Endpunkt, dem Schnittpunkt mit der kotektischen Linie P-E_5. Nur in ihrem ganz untersten Abschnitt von 0 Gew.% An-Gehalt (im An-freien

System Q-Ab-Or) bis 5 Gew.% An-Gehalt muß es, ähnlich wie bei der kotektischen Linie P-E_5 zu einem kurzen steilen Anstieg kommen. Die 685 ^{o} - Isotherme verhält sich zum größten Teil analog. Auf ihr wird der An-Gehalt erst ab dem oberen Drittel zunehmend höher; er steigt dabei von 9 auf 14 Gew.% (siehe Abb. 7). In ihrem unteren Drittel scheint diese Isotherme, im Gegensatz zur 670 ^{o} - Isotherme, allmählicher zur Feldergrenze Ab-reicher Alkalifeldspat/Or-reicher Alkalifeldspat im An-freien System Q-Ab-Or abzufallen.

Was bedeutet dies nun für die Lage der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V insgesamt? Verfolgt man die Ausbreitung dieser kotektischen Fläche von der kotektischen Linie P-E_5 weg zur Ab--Or-An-Seite des Tetraeders Q-Ab-Or-An hin, so hat jene einen bis fast zu ihrer unteren Hälfte um rund 1 Gew.% höheren An-Gehalt als die kotektische Linie, was bedeutet, daß die kotektische Fläche Pla-Akf-L-V von der kotektischen Linie ab leicht zur 670 ^{o} - Isotherme hin ansteigt. Ihren An-Gehalt behält sie in etwa auch bis zur 685 ^{o} - Isotherme bei und er dürfte sich auch nicht wesentlich bis zum Seitensystem Ab-Or-An(-H_2O), und auch auf dessen kotektischer Linie P_1-E_4 (siehe Abb. 1), geändert haben. Das Seitensystem Ab-Or-An(-H_2O) des Tetraeders Q-Ab-Or-An wurde von YODER et al. (1957) bereits gut bestimmt. Etwa ab dem Punkt mit dem An-Gehalt von 9 Gew.% auf der 685 ^{o} - Isotherme kommt es in Richtung auf die Q-Or-An-Seite des Tetraeders hin, wie bei der kotektischen Linie P-E_5, zunächst zu einem abrupten Anstieg der kotektischen Fläche auf einen Wert von 14 Gew.% An-Gehalt; dieser Wert bleibt dann bis E_5 unverändert (vgl. Abb. 6 und 8). Der rechte, Or-reichere Teil der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V stellt fast ein Plateau dar, mit einem An-Gehalt um 14 Gew.%, denn der An-Gehalt des Eutektikums E_4 des Systems Or-An(-H_2O) beträgt nach YODER et al. (1957) bei 5 kb H_2O-Druck 13 Gew.% An-Gehalt.

Vom Schnittpunkt der 670 ^{o} - Isotherme mit der kotektischen Linie P-E_5 (die Isothermen verlaufen ja auf der kotektischen Fläche Q-Pla-L-V weiter, die von MARCOPOULOS bestimmt werden) verläuft über die beiden Punkte mit dem An-Gehalt von 9 Gew.%

auf den beiden Isothermen eine Art 9er An-Höhenlinie, die etwa in der Mitte zwischen den beiden Eutektika P_1 und E_4 (siehe Abb. 1) ihr Ende findet. Diese Linie besitzt eine leichte Krümmung in Richtung auf das Eutektikum E_4 zu. Zwischen der Ausscheidungsgrenze Ab-reicher Alkalifeldspat/Or-reicher Alkalifeldspat (der gestrichelten Linie 650 °/695 ° der Abbildung 7) und besagter Höhenlinie liegt somit ein sehr großes Terrain mit einem relativ niedrigen An-Gehalt (maximal 9 Gew.%), in dem die Temperatur ab der 685 ° - Isotherme lediglich in Richtung auf das Eutektikum E_4 hin immer stärker ansteigt. In diesem Punkt E_4, dem Eutektikum des Systems Or-An(-H_2O), beträgt die Temperatur 845 °C.

Weitere Experimente galten der Bestimmung von Isothermen bei 5 kb H_2O-Druck und Temperaturen von 670 bzw. 685 °C auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V. Bei diesen analysierten Proben stand die Schmelze mit Quarz, Alkalifeldspat und einer Gasphase im Gleichgewicht. Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 9 (für 670 °C) und der Tabelle 10 (für 685 °C), sowie in Abbildung 8 zusammengefaßt bzw. dargestellt. Bei der graphischen Darstellung der Versuchsergebnisse wurde deren Zentralprojektion auf das Seitensystem Ab-Or-An(-H_2O) des Tetraeders Q-Ab-Or-An der besseren Übersicht und Anschaulichkeit halber der Vorzug gegeben (siehe Abb. 8).

Wie die Ergebnisse zur Festlegung der kotektischen Linie P-E_5 erbrachten, liegt diese in ihrem unteren Drittel bei sehr An-armen Werten, also niedrig im Tetraeder. Dies hat zur Folge, daß die kotektische Fläche Q-Akf-L-V in ihrem unteren Drittel (bis zu einem An-Gehalt von etwa 9 Gew.%, ihrer 670 ° - Isotherme also) von nur geringer Ausdehnung ist.

Der Q-Gehalt der 670 ° - Isotherme auf dieser kotektischen Fläche erhöht sich kontinuierlich nur ein wenig von 30 Gew.% etwa (an ihrem Anfangspunkt im An-freien System Q-Ab-Or) auf 34 Gew.% (am Schnittpunkt mit der kotektischen Linie), wie die Abbildung 8 zeigt (dort stellt die projizierte Linie P''-E_5'' die kotektische Linie P-E_5 dar). Das bedeutet, daß diese kotektische Fläche sich von ihrem Ursprung im System Q-Ab-Or bis hoch zur

kotektischen Linie P-E_5 leicht zur Q-Ecke des Tetraeders hin neigt. Diese kotektische Fläche nimmt mit zunehmender Erstreckung zum Seitensystem Q-Or-An(-H_2O) im Gesamtsystem Q-Ab-Or-An(-H_2O), respektive zur Or-An-Kante in der Projektion der Abbildung 8 hin, an Ausmaß nicht unbeträchtlich zu. Dies ist durch den Anstieg im An-Gehalt entlang der kotektischen Linie und ihrer damit verbundenen Anhebung in Richtung zur An-Spitze des Tetraeders hin bedingt.

Der Q-Gehalt auf der 685 ^{o} - Isotherme erhöht sich von 32 Gew.% (an ihrem Anfangspunkt im An-freien System Q-Ab-Or) auf 35 Gew.% (am Schnittpunkt mit der kotektischen Linie), wie die Abbildung 8 zeigt. Die Angaben des Q-Gehaltes von 32,33,35,35,33 und 35 Gew.% auf dieser Isotherme von ihrem Anfangs- zu ihrem Endpunkt, was keinen stetigen Anstieg der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V zur Q-Ecke des Tetraeders hin mehr bedeuten würde, sind so zu interpretieren:
Während es bei der zweiten der oben genannten Proben gerade noch möglich war, röntgenographisch die beiden kristallinen Restphasen Quarz und Alkalifeldspat eindeutig nachzuweisen, war dies bei den folgenden drei Proben nicht mehr der Fall. Das bedeutet, daß diese Schmelzen die kotektische Fläche Q-Akf-L-V unmittelbar verlassen haben. Aus den in Tabelle 5 angegebenen Versuchsergebnissen ersieht man, daß die beiden Schmelzen Nr. 34 und 40 (mit 35 Gew.% Q-Gehalt) bereits im Q-Raum des Tetraeders liegen, und daß die Schmelze Nr. 53 (mit 33 Gew.% Q-Gehalt) gerade im Akf-Raum des Tetraeders liegt. Der Anstieg des Q-Gehaltes entlang der 685 ^{o} - Isotherme ist damit ebenfalls, wie bei der 670 ^{o} - Isotherme, ein kontinuierlicher, nämlich von 32 - über 33 und 34 - auf 35 Gew.%.
Auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V liegt ähnlich wie auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V ein relativ großer Bereich von Schmelzzusammensetzungen vor, die einen geringen An-Gehalt haben und bei relativ niedrigen Temperaturen bildbar sind.

Im späteren Verlauf der Diskussion sollen diese Bezirke geringen An-Gehaltes und niedriger Temperatur für die beiden zu untersuchenden kotektischen Flächen Plagioklas-Alkalifeldspat--Schmelze-Gasphase bzw. Quarz-Alkalifeldspat-Schmelze-Gasphase in separaten Abbildungen graphisch dargestellt werden.

Durch weitere Experimente bei 7 kb H_2O-Druck wurden wiederum Bezirke mit niedriger Temperatur in der Umgebung der kotektischen Linie P-E_5 erforscht. Die diesbezügliche kotektische Linie war in ihrem Verlauf noch nicht exakt bekannt (siehe Abb. 3 und Seite 7) und wurde parallel zu dieser Arbeit von MARCOPOULOS bestimmt. Sie wird in den folgenden Abbildungen übernommen.

Als Versuchstemperaturen wurden diesmal 655 bzw. 670 °C gewählt, da im Granitsystem (bei H_2O-Überschuß!) eine Druckerhöhung von 5 auf 7 kb P_{H_2O} eine Temperaturerniedrigung von rund 15 °C erwarten ließ. Somit konnten die bei 5 kb H_2O-Druck erzielten Resultate eine Art Orientierungshilfe darstellen.

Bereits die Röntgendiffraktometeraufnahmen der neuen Reaktionsprodukte zeigten, daß in etwa die gleichen Mengen an kristallinen Restphasen übriggeblieben waren wie bei den entsprechenden 5 kb - Proben. Dies ließ erwarten, daß die Schmelzen der 7 kb - Proben ihre darstellenden Punkte nahe denen für 5 kb haben würden, zumal für die Festlegung der Isothermen für 7 kb H_2O-Druck - bis auf ganz wenige Ausnahmen - dieselben Ausgangsmischungen verwendet wurden (siehe Tab. 5). Aber erst die Analyse mit der Mikrosonde konnte die genaue Lage der Schmelzen (vor allem bezüglich ihres An-Gehaltes) im Tetraeder ermitteln helfen. Es durfte aber bereits angenommen werden, daß der An-Gehalt in den Schmelzen (aufgrund der Druckerhöhung) steigen würde. Diese Annahme stellte sich dann auch als richtig heraus.

Zunächst sollen die Versuchsergebnisse der Proben, die ihren darstellenden Punkt auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V bei Temperaturen von 655 bzw. 670 °C haben, diskutiert werden. Diese sind in den Tabellen 11 (für 655 °C) und 12 (für 670 °C), sowie in Abbildung 9 zusammengefaßt bzw. dargestellt. Es stand also die zu analysierende Schmelze mit Plagioklas und Alkalifeldspat und einer Gasphase im Gleichgewicht.

Wie die Abbildung 9 zeigt, ist der Verlauf der 655 °C - Isotherme sehr ähnlich der bei 5 kb H_2O-Druck und 670 °C. Nämlich ein relativ kurzer und steiler Anstieg der Isotherme bis zum Punkt mit dem An-Gehalt von 5 Gew.%, daran anschließend ein allmähliches Zunehmen im An-Gehalt bis zum Schnittpunkt der Isotherme mit der kotektischen Linie P-E_5, wo der An-Gehalt 10 Gew.% beträgt. Dieser letzte Punkt (mit dem An-Gehalt von 10 Gew.%, die Schmelze der Probe Nr. 108) liegt bereits auf der kotektischen Linie, da röntgenographisch noch alle drei kristallinen Restphasen (Quarz, Plagioklas und Alkalifeldspat) nachgewiesen werden konnten.

Der An-Gehalt entlang der 670 °C - Isotherme erhöht sich in ihrem unteren Teil wiederum kontinuierlich von 0 Gew.% (am Anfangspunkt im An-freien System Q-Ab-Or) über 6, 7, 8 auf 11 Gew.% am Beginn ihres oberen Drittels. Ab diesem Punkt (11) (siehe Abb. 9) kommt es zu einer stärkeren An-Zunahme auf dieser Isotherme bis auf 15 Gew.% bereits relativ weit vor Erreichen des Schnittpunktes mit der kotektischen Linie; auch im Schnittpunkt selbst beträgt der An-Gehalt 15 Gew.%, was die Bestimmung der kotektischen Linie nach MARCOPOULOS und die Schmelze der Probe 118 (siehe Tab. 14) belegen. Zusammen mit dieser Schmelze konnten röntgenographisch Quarz, Alkalifeldspat und Plagioklas (nicht mehr eindeutig) nachgewiesen werden.

Wie die Abbildung 9 zeigt, stellt die kotektische Linie P-E_5 in ihrer Projektion eine Gerade dar, die näher zur Ab-Or-Kante hin liegt, als die Projektion der kotektischen Linie bei 5 kb H_2O-Druck. Das hat zur Folge, daß der Ausscheidungsraum des Alkalifeldspates und die kotektische Fläche Pla-Akf-L-V etwas kleiner geworden sind. Bedingt durch die Zunahme des Druckes sank der SiO_2-Gehalt in den 7 kb - Schmelzen. Das bedeutet, daß die Isothermen bei 7 kb H_2O-Druck und 655 bzw. 670 °C etwas näher zur Ab-Or-Kante rücken, als die bei 5 kb H_2O-Druck. Insgesamt gesehen jedoch ist der Bereich zwischen der kotektischen Linie und den Isothermen bei 7 kb H_2O-Druck und 655 bzw. 670 °C etwas kleiner als der bei 5 kb H_2O-Druck und 670 bzw. 685 °C, weil die Verschiebung der kotektischen Linie stärker ins Gewicht fällt als die der Isothermen (vgl. Abb. 7 und 9).

Bei 7 kb H_2O-Druck und 655 bzw. 670 °C gibt es ähnlich wie bei 5 kb H_2O-Druck und 670 bzw. 685 °C in der Umgebung der kotektischen Linie P-E_5 (um ihren unteren Teil) einen Bezirk mit geringem An-Gehalt (maximal etwa 11 Gew.%) und niedriger Temperatur, was die Abbildungen 9 und 10 zeigen. Vergleicht man die An-Gehalte für 5 und 7 kb H_2O-Druck auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V, so läßt sich sagen, daß dieser bei 7 kb um etwa 1-2 Gew.% höher ist als bei 5 kb H_2O-Druck. Etwa ab dem Punkt mit dem An-Gehalt von 10 Gew.% auf der kotektischen Linie P-E_5, bzw. ab dem Punkt mit dem An-Gehalt von 11 Gew.% auf der 670 °C - Isotherme der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V (siehe Abb. 9), kommt es zu einer fast sprunghaften An-Zunahme bis auf 15 Gew.%, die im weiteren Verlauf dann nur allmählich bis auf 18 Gew.% im Eutektikum E_5 (nach WINKLER und GHOSE, 1973) ansteigt. Man muß daher annehmen, daß der rechte, Or-reichere Teil der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V nicht wie bei 5 kb H_2O-Druck fast plateauartig ist, sondern in Richtung auf das Seitensystem Q-Or-An(-H_2O) etwas ansteigt.

Die Analysenergebnisse der Proben, die zur Bestimmung der Isothermen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V dienten, waren hier ebenfalls sehr ähnlich denen für 5 kb H_2O-Druck. Wie die Abbildung 10 zeigt, verläuft die kotektische Linie (P''-E_5'') bis hin zu ihrem Punkt mit dem Q-Gehalt von 34 Gew.% fast analog wie bei 5 kb H_2O-Druck. Sie hat bis dahin lediglich einen um etwa 1 Gew.% höheren An-Gehalt. Erst ab diesem Punkt (34) kommt es zu einer nochmaligen An-Zunahme. Im Gegensatz dazu stand ihr Verlauf bei 5 kb H_2O-Druck, wo sich ihr An-Gehalt auf ihrem letzten Drittel nicht mehr erhöht hatte. Das bedeutet, daß die kotektische Fläche Q-Akf-L-V in ihrem unteren, Ab-reicheren Drittel (ähnlich wie bei 5 kb H_2O-Druck) von nur geringer Ausdehnung ist und erst etwa mit der 655 °C - Isotherme an Ausdehnung stetig zunimmt (siehe Abb. 10).

Der Verlauf der beiden Isothermen bei 7 kb H_2O-Druck und 655 bzw. 670 °C auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V ist ebenfalls sehr ähnlich denen bei 5 kb H_2O-Druck und 670 bzw. 685 °C. Lediglich ist der Q-Gehalt um 1 bis maximal 3 Gew.% niedriger.

Für die Ausbreitung der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V im Tetraederraum bedeutet dies, daß sie nur in ihrem untersten Bereich, nahe ihres Beginns im An-freien System Q-Ab-Or, eine leichte Krümmung zur Q-Ecke des Tetraeders hin aufweist und anschließend konstant zur kotektischen Linie P-E_5 hin ansteigt, also fast lotrecht im Tetraederraum steht. Bei 5 kb H_2O-Druck war diese Neigung zur Q-Ecke hin wesentlich stärker. Auch auf dieser kotektischen Fläche gibt es wieder einen relativ großen Bereich mit geringem An-Gehalt und niedriger Temperatur in der Umgebung der kotektischen Linie P-E_5. Dies wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch anhand von neuen, vergleichenden Darstellungen gezeigt werden.

Das Ergebnis der Tabelle 15, das zur Festlegung des Isothermenverlaufs im Raum des Tetraeders Q-Ab-Or-An bei 5 kb H_2O-Druck dient, zeigt, daß der An-Gehalt der Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V nur wenig geringer ist als der der Isotherme, die im Tetraederraum verläuft. Dies beweist der Vergleich der Schmelze S 121 (siehe Tab. 15) mit der Schmelze S 15 (siehe Tab. 7), wobei der An-Gehalt der Isotherme im Raum des Tetraeders lediglich um etwa 1 Gew.% höher ist als auf besagter kotektischer Fläche. Das bewirkt, daß die Isothermen im Raum des Tetraeders nur knapp oberhalb der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V verlaufen und auch oberhalb der kotektischen Linie P-E_5 lediglich um 1-2 Gew.% An-Gehalt höher liegen dürften. Es kommt also bereits unmittelbar oberhalb der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V - bzw. oberhalb der kotektischen Linie P-E_5 - - zu einem starken Temperaturanstieg bei An-reicheren Schmelzen. Eine Verbindung der Isothermen auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V durch den Ausscheidungsraum des Alkalifeldspates hindurch mit den Isothermen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V läßt sich aufgrund der sehr engen Nachbarschaft dieser beiden kotektischen Flächen ziehen. Es wurden deshalb dafür keine separaten Experimente durchgeführt. Die eben aufgezeigten Sachverhalte dürften in etwa auch für den Verlauf der Isothermen im Tetraederraum bei einem H_2O-Druck von 7 kb ihre Gültigkeit besitzen.

In Abbildung 11 sind die Bereiche zwischen der kotektischen Linie P-E_5 (für 3, 5 und 7 kb H_2O-Druck) und der jeweiligen 670 ^{o} - Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V als Zentralprojektion in das Grunddreieck Q-Ab-Or des Tetraeders Q-Ab-Or-An dargestellt. Aus dieser Abbildung ist zu entnehmen, daß die Bereiche mit niedrigen Temperaturen (bis 670 ^{o}C), die in der Nähe der kotektischen Linie P-E_5 liegen, mit steigendem Druck erheblich größer werden. Ferner ersieht man aus dieser Abbildung, daß mit steigendem Druck die Schmelzen auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V SiO_2-ärmer sein können, weil die kotektische Linie und damit die entsprechenden Isothermen sich mit steigendem Druck zur Ab-Or-Kante (siehe Abb. 11) hin verschieben. Außerdem erhöht sich mit steigendem Druck die An-Komponente, weil die kotektische Linie und ihre entsprechenden Isothermen sich mit steigendem Druck etwas mehr in Richtung zur An-Spitze des Tetraeders Q-Ab-Or-An verlagern.

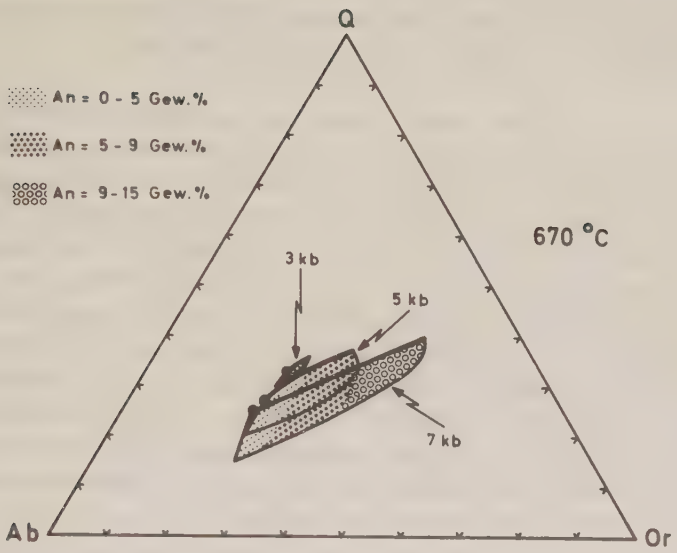


Abb. 11: Darstellung der Bereiche zwischen der kotektischen Linie P-E_5 (bei 3, 5 und 7 kb H_2O-Druck) und der jeweiligen 670 ^{o} - Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V als Zentralprojektion in die Grundebene Q-Ab-Or des Tetraeders Q-Ab-Or-An.
Diese Bereiche sind hinsichtlich ihres An-Gehaltes unterteilt, worauf im weiteren Verlauf der Arbeit noch näher eingegangen wird.
● = Eutektika P für die drei gewählten Druckbedingungen im An-freien System Q-Ab-Or.
Die Werte für 3 kb H_2O-Druck wurden der Arbeit von WINKLER (1974) durch Interpolation der Ergebnisse für 2 und 4 kb H_2O-Druck entnommen.

F) PETROGENETISCHE BEDEUTUNG DER ERGEBNISSE

Welche Bedeutung haben nun die erzielten Ergebnisse und die daraus resultierenden Abbildungen 6 - 11 für die petrogenetische Deutung der Genese granitischer Gesteine?

Vergleicht man den Bereich zwischen der kotektischen Linie $P\text{-}E_5$ und der 670 °C - Isotherme bei 5 kb H_2O-Druck mit dem Bereich zwischen der kotektischen Linie und der 655 °C - Isotherme bei 7 kb H_2O-Druck, so sieht man, daß diese Bereiche in etwa gleich groß sind (siehe Abb. 12 a - d). Ein Vergleich des Bereiches zwischen der kotektischen Linie und der 670 °C - Isotherme bei 5 kb H_2O-Druck mit dem Bereich zwischen der kotektischen Linie und der 670 °C - Isotherme bei 7 kb H_2O-Druck zeigt jedoch, daß der letztere Bereich wesentlich größer ist. Dies darf aber nicht dazu verleiten, anzunehmen, daß damit auch das Feld einer möglichen granitischen Magmenbildung um den gleichen Betrag zunimmt, denn der An-Gehalt der Schmelzen, die bei 670 °C und 7 kb H_2O-Druck existieren ist bedeutend höher (bis zu 6 Gew.%) als bei den Schmelzen, welche bei 5 kb H_2O-Druck bei gleicher Temperatur sich bilden. Solche relativ An-reiche Schmelzen können sich aber nur dann bilden, wenn das Ab/An-Verhältnis im Granit sehr klein (etwa 0,66) und in dem der Anatexis unterworfenen partiell aufgeschmolzenen Gneis noch kleiner ist. Der Plagioklas des Gneises könnte dann kein Oligoklas oder Andesin sein, sondern müßte eine Zusammensetzung von mindestens $Ab_{40}An_{60}$ (Labradorit) haben, was aber fast nicht vorkommt. Damit ist der rechte Teil (ab etwa 11 Gew.% An-Gehalt) des Bezirks von An = 9 bis An = 15 Gew.% der Abbildungen 9 bzw. 11 als Bildungsraum für ein anatektisches granitisches Magma in der Regel auszuschließen. Dem ist in den Abbildungen 12 a - d Rechnung getragen, wo die punktierten Bereiche die wahrscheinlichen Bildungsräume darstellen.

Für die gewählten p-T-Bedingungen lassen sich somit Bereiche auf den beiden kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V um die kotektische Linie $P\text{-}E_5$ angeben (siehe Abb. 12 a - d), die den erforderlichen geringen An-Gehalt (maximal 9 Gew.% bei 5 und maximal 11 Gew.% bei 7 kb H_2O-Druck, was etwa einem Plagioklas der Zusammensetzung $Ab_{70}An_{30}$ entspricht) und eine niedrige Temperatur ($\leq$685 °C bei 5 und $\leq$670 °C bei 7 kb H_2O-Druck) aufweisen. Hierbei

ist der An-Gehalt (für beide Druckbedingungen) entlang der genannten Isothermen, welche auf der kotektischen Fläche Pla--Akf-L-V verlaufen um etwa 1 - 2 Gew.% höher als auf der kotektischen Linie P-E_5 (siehe Abb. 7 und 9). Die Temperatur nimmt dabei erst ab der 685 °- Isotherme bei 5 kb H_2O-Druck bzw. ab der 670 °- Isotherme bei 7 kb H_2O-Druck in einem immer stärkeren Maße zu.

Es existiert also um die untere, An-ärmere Hälfte der kotektischen Linie P-E_5 sowohl für 5 als auch für 7 kb H_2O-Druck ein Bereich mit einem An-Gehalt von maximal 9 Gew.% (für 5 kb H_2O--Druck) bzw. von maximal 11 Gew.% (für 7 kb H_2O-Druck), der vor allem wegen seiner relativ niedrigen Temperatur ($\leq$685 °C für 5 und $\leq$670 °C für 7 kb H_2O-Druck) für die Bildung anatektischer granitischer Magmen aus gewöhnlichen Alkalifeldspat-Plagioklas--Quarz-Gneisen besonders wahrscheinlich ist (siehe Abb. 12 a - b). In den Abbildungen 12 c und d sind die entsprechenden Bildungsbereiche anatektischer granitischer Magmen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V, sowie im Raum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders dargestellt.

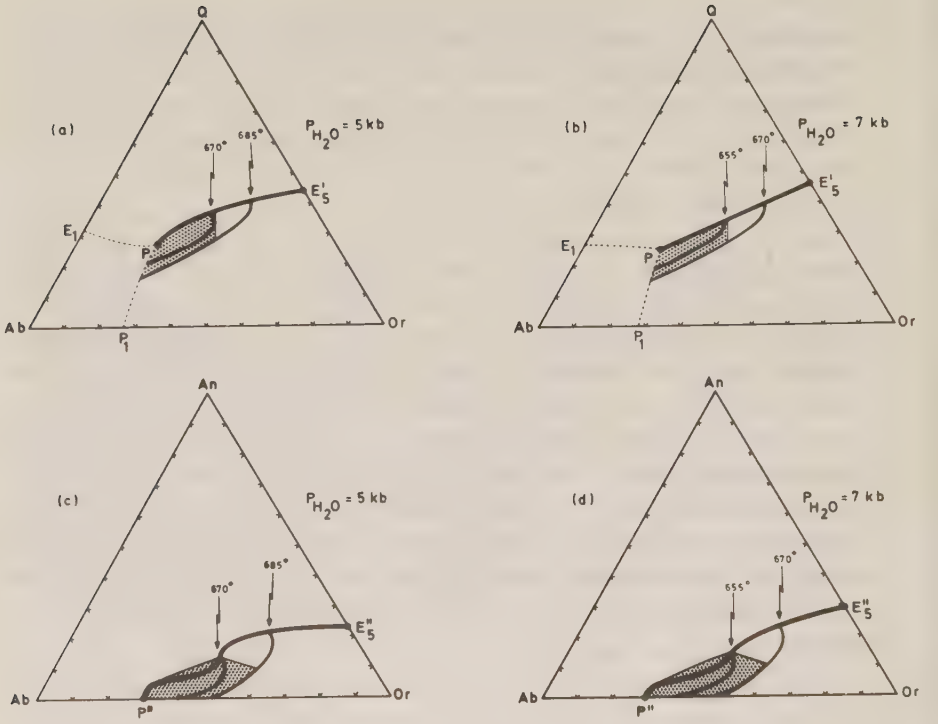


Abb. 12 a - d: Darstellung (Zentralprojektion in die Grundebene Q-Ab-Or bzw. auf das Seitensystem Ab-Or-An des Tetraeders Q-Ab-Or-An) von Bereichen (punktiert) mit einem An-Gehalt von 0 - 9 Gew.% bei 5 bzw. von 0 - 11 Gew.% bei 7 kb H_2O-Druck und niedriger Temperatur auf den kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V (Abb. 12 a und b) und Q-Akf-L-V (Abb. 12 c und d). In jeder Zeichnung sind jeweils die Projektion der kotektischen Linie ($P-E'_5$ bzw. $P''-E''_5$) und die entsprechenden Isothermen mit angegeben. Der Q-Gehalt im punktierten Bereich der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V ((Abb. 12 c und d) liegt zwischen 27 und 35 Gew.% bei 5 und zwischen 25 und 34 Gew.% bei 7 kb H_2O-Druck (siehe Abb. 8 und 10). Im Punkt E''_5 beträgt der Q-Gehalt jeweils 38 Gew.%, im Punkt P'' 27 bzw. 25 Gew.% (nach WINKLER und GHOSE, 1973 bzw. LUTH et al., 1964).

Es soll nun versucht werden, die analysierten kotektischen granitischen Schmelzen mit einigen tatsächlich vorkommenden granitischen Gesteinen zu vergleichen und zu belegen, daß in den in Abbildung 12 a - d angegebenen besonders wahrscheinlichen Bildungsbereichen für anatektische granitische Magmen auch tatsächlich granitische Gesteine entstanden sind. Dazu wurden in Tabelle 17 einige Analysen von granitischen Gesteinen aufgeführt, deren darstellende Punkte als Zentralprojektion in das Grunddreieck Q-Ab-Or bzw. auf das Seitensystem Ab-Or-An des Q-Ab-Or-An-Tetraeders eingezeichnet sind (siehe Abb. 13 a und b). Als Grundlage hierfür dienten die Abbildungen 9 und 10 (H_2O--Druck = 7 kb) mit ihrer kotektischen Linie und ihrer 655 ^{o} - und 670 ^{o} - Isotherme.

Die Analysenwerte dieser natürlichen granitischen Gesteine ("Grimstad-Granit") wurden der Arbeit von CHRISTIE et al. (1970) entnommen. Da in dieser Arbeit lediglich die Modalanalyse (Vol.%) und die Analysen der Feldspäte (Mol %) angegeben wird, mußte aus diesen Daten für die Vergleichsdarstellung (siehe Tab. 16) das Q-Ab-Or-An-Verhältnis (Gew.%) errechnet werden.

Die Gesteinstypen weisen in ihrem or:ab:an-Verhältnis eine starke Ähnlichkeit mit einigen Ergebnissen der Tabelle 13 (kotektische granitische Schmelzen Nr. 120, 112 und 111) auf, was die Gegenüberstellung in der Tabelle 16 gut zeigt. Vergleicht man jedoch die Q-Gehalte der Gesteinstypen des Grimstad-Granits mit denen der kotektischen granitischen Schmelzen, so ist hier der Unterschied zum Teil schon recht beträchtlich. Während die drei kotektischen granitischen Schmelzen mit einem Q-Gehalt von jeweils 31 Gew.% auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V liegen, ist der Q-Gehalt der vier Granittypen (Feinkörniger Granit, Normal-Granit, Quarz-Monzonit und Mittelkörniger Granit; Bezeichnung nach CHRISTIE et al., 1970) deutlich geringer, so daß diese nicht mehr auf besagter kotektischer Fläche, sondern im Ausscheidungsraum des Alkalifeldspates liegen (siehe Abb. 13 b). Wie die Abbildung 13 a zeigt, liegen die genannten vier Granittypen (in der Zentralprojektion) zwischen der 670 ^{o} - Isotherme im An-freien System Q-Ab-Or und der 670 ^{o} - Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V. Eine Ausnahme bildet dabei ledig-

lich der "Quarz-Monzonit", der etwas außerhalb der 670 $^{\circ}$ - Isotherme zu einer etwas höheren Temperatur hin liegt. Betrachtet man die Abbildung 13 b, so sieht man, daß die beiden Isothermen auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V von ihrem Anfangspunkt im An-freien System Q-Ab-Or (mit 29 bzw. 31 Gew.% Q-Gehalt) zuerst nur ganz allmählich zur kotektischen Linie (P''-E_5') ansteigen und etwa erst ab dem Punkt mit dem An-Gehalt von 5 Gew.% (bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100 Gew.%) sich immer steiler zur kotektischen Linie hoch ziehen. Analog dürfte es sich verhalten, wenn man die Verbindung zwischen der 670 $^{\circ}$ - Isotherme im An-freien System Q-Ab-Or und der 670 $^{\circ}$ - Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V durch das Ausscheidungsfeld des Alkalifeldspates hindurch herstellt. Diese Verbindungsfläche erstreckt sich demnach von ihrem Ursprung im An-freien System Q-Ab-Or zunächst mit einem sehr flachen Anstieg in Richtung auf das Seitensystem Ab-Or-An zu, um dann etwa in der Höhe An = 5 Gew.% (bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100 Gew.%) immer steiler zur 670 $^{\circ}$ - Isotherme auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V anzusteigen, bis sie vor Erreichen dieser kotektischen Fläche fast senkrecht im Tetraederraum steht. Das heißt, daß im Alkalifeldspatraum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders, ähnlich wie auf den beiden kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V ein relativ großer Bereich geringen An-Gehaltes und niedriger Temperatur existiert. Verbindet man nun die Bereiche geringen An-Gehaltes und niedriger Temperatur auf den beiden kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V mit dem eben erwähnten Bezirk im Alkalifeldspatraum des Tetraeders, so erhält man einen großen Raum, in dem Schmelzen mit niedrigem An-Gehalt bei niedrigen Temperaturen existieren. Wenn der H_2O-Druck 7 kb beträgt, dann sind die Temperaturen $\leq$ 670 $^{\circ}$C. In nahezu dem gleichen Tetraederbereich, durch den bei 7 kb H_2O-Druck die 670 $^{\circ}$ - Isotherme verläuft, zieht sich bei 5 kb H_2O-Druck die 685 $^{\circ}$ - Isotherme und bei einem noch niedrigerem H_2O-Druck von 3 kb wäre es etwa die 700 $^{\circ}$ - Isotherme.

Bei den vier genannten Granittypen liegt der An-Gehalt zwischen 2 und 7 Gew.% (bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100 Gew.%). Im Tetraeder Q-Ab-Or-An haben die vier Granittypen folgende Lage (vgl. Abb. 13 a und b): Der Normal-Granit (□) und der Mittelkörnige Granit (x) liegen in dem genannten Raum niedriger Temperatur ($\leq$ 670 $^{\circ}$C) bei 7 kb H_2O-Druck. Der Feinkörnige Granit (+) hat mit 2 Gew.% einen zu geringen An-Gehalt, so daß er unterhalb dieses Raumes sehr nie-

driger Temperatur, bereits nahe dem An-freien System Q-Ab-Or liegt und zwar zu einer etwas höheren Temperatur hin (etwa 5 - 10 °C). Ähnliches gilt für den Quarz-Monzonit (o). Mit seinem 7 Gew.% An-Gehalt liegt er zwar unterhalb der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V, aber außerhalb des genannten Raumes (≤670 °C) und zwar ebenfalls zu einer etwas höheren Temperatur hin (etwa 5 - 10 °C) in Richtung auf das Seitensystem Ab-Or-An. Insgesamt gesehen jedoch liegen alle vier Gesteinstypen des Grimstad-Granits innerhalb eines großen Volumens niedriger Temperatur in der Nähe der kotektischen Linie P-E_5 im Alkalifeldspatraum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders, der begrenzt wird durch die kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V, sowie durch die Grundfläche Q-Ab-Or des Tetraeders.

Bis jetzt wurde der Grimstad-Granit so behandelt, als wäre er bei 7 kb H_2O-Druck entstanden. CHRISTIE et al. (1970) können keine genauen Angaben über die Tiefe der Intrusion dieses Granits machen. Ihrer Arbeit ist lediglich zu entnehmen, daß der Grimstad-Granit wahrscheinlich ein präkambrischer Pluton ist, der von präkambrischen, hochmetamorphen Gesteinen umgeben ist. Ein Kontakthof ist nicht vorhanden, so daß die Platznahme dieses Granites in einem hoch-temperierten Nebengestein in erheblicher Tiefe erfolgt sein muß. Keineswegs hat die Kristallisation des Grimstad-Granits unter nur geringen Drucken, wie bei seichten Granitintrusionen, stattgefunden.

Wie liegen nun die darstellenden Punkte des Grimstad-Granits hinsichtlich der kotektischen Linie P-E_5 und der beiden kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V, wenn man als Druckbedingungen 3 bzw. 5 kb H_2O-Druck annimmt?

Wie die durchgeführten Experimente zeigten, entspricht die 670 ° - - Isotherme bei 7 kb H_2O-Druck etwa der 685 ° - Isotherme bei 5 kb H_2O-Druck. Diese 685 ° - Isotherme, sowie die entsprechende kotektische Linie sind dabei lediglich zu etwas (etwa 1 - 2 Gew.%) Q-reicheren und An-ärmeren Werten hin verschoben. Das heißt, daß die vier Gesteinstypen des Grimstad-Granits <u>auch bei 5 kb H_2O-Druck</u> in einem Volumen niedriger Temperatur (hier allerdings bis etwa 690 °C) in der Nähe der kotektischen Linie P-E_5 im Alkalifeldspatraum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders liegen. Analog verhält es sich bei

3 kb H_2O-Druck. Auch hier liegen die vier Gesteinstypen innerhalb eines Volumens relativ niedriger Temperatur (hier bis etwa 710 °C) in der Nähe der kotektischen Linie im Alkalifeldspatraum des Tetraeders.

Man kann also keine definitive Aussage über die p-T-Bedingungen bei der Genese des Grimstad-Granits machen. Sagen läßt sich jedoch, daß er magmatischen Ursprungs ist, denn seine vier Variätäten sind so zusammengesetzt, daß sie in einem Bereich des Tetraeders Q-Ab-Or-An liegen, in dem bei allen denkbaren H_2O-Drucken relativ sehr niedrig-temperierte Schmelzen existieren können. Der Schluß des magmatischen Ursprungs eines Granits ist auch dann noch zu ziehen, wenn sein darstellender Punkt im Alkalifeldspatraum liegt, aber näher zum Seitensystem Ab-Or-An hin läge, als die Punkte der Abbildung 13 a, denn in dieser Richtung nimmt die Temperatur nur mäßig zu. Hätte aber ein Granit seinen darstellenden Punkt etwas weiter entfernt von der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V in Richtung auf die Q-Ecke des Tetraeders zu, so wäre eine Aussage über seine magmatische Genese nicht mehr wahrscheinlich, denn in dieser Richtung kommt es bereits kurz nach Verlassen der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V in Richtung zur Q-Ecke zu einer starken Temperaturzunahme. Ähnlich wäre eine Aussage zur Genese, wenn ein Granit einen hohen An-Gehalt (größer als etwa 14 Gew.%) hätte, denn dann läge diese An-reiche Schmelze bereits oberhalb der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V bzw. oberhalb der kotektischen Linie $P\text{-}E_5$ im Plagioklasraum des Tetraeders, in dem es, wie experimentell ermittelt, bereits unmittelbar nach Verlassen der kotektischen Linie bzw. der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V zu einer starken Temperaturzunahme bei An-Zunahme kommt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß ein granitisches Gestein, das seinen darstellenden Punkt in dem erwähnten großen Volumen niedriger Temperatur in der Nähe der kotektischen Linie $P\text{-}E_5$ im Alkalifeldspatraum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders hat (bei verschiedenen Drucken) mit sehr großer Wahrscheinlichkeit magmatischer Natur ist; es kann also sehr wohl durch Anatexis aus gewöhnlichen Alkalifeldspat-Plagioklas-Quarz-Gneisen im Zuge einer Metamorphose entstanden sein, bei der die erwähnten relativ niedrigen magmatischen Temperaturen im hoch-temperierten metamorphen Gebiet erreicht worden sind.

Kotektische granit. Schmelzen				Natürl. granit. Gesteine			
Nr.	or	ab	an	Nr.	or	ab	an
120	46	51	3	1	49	48	3
112	47	48	5	2	47	48	5
111	49	42	9	3	48	43	9
				4	50	40	10

Nr.	q	or	ab	Nr.	q	or	ab
120	31	33	36	1	27	37	36
112	32	34	34	2	29	35	36
111	33	36	31	3	25	40	35
				4	32	38	30

Nr.	q	or	ab	an	Nr.	q	or	ab	an
120	31	32	35	2	1	27	36	35	2
112	31	33	33	3	2	28	34	35	3
111	31	34	29	6	3	23	37	33	7
					4	30	35	28	7

Tab. 16: Vergleichsdarstellung (Angabe in Gew.%) zwischen experimentell ermittelten kotektischen granitischen Schmelzen und natürlichen granitischen Gesteinen ("Grimstad-Granit"); siehe dazu auch Tabelle 17.

Nr.	Gesteinstyp	Quarz	Pla	Akf	Bi	Acc	q:or:ab:an (Gew.%)	or:ab:an (Gew.%)
		Modalbestand (Vol.%)+						
1	Feinkörniger Granit	25,3	32,4	27,3	4,0	1,9	27 36 35 2	49 48 3
2	Normal-Granit	26,0	28,1	39,8	4,8	1,3	28 34 35 3	47 48 5
3	Quarz-Monzonit	18,9	36,6	29,6	11,6	3,3	23 37 33 7	48 43 9
4	Mittelkörniger Granit	27,5	30,3	35,4	5,8	1,0	30 35 28 7	50 40 10

Tab. 17: Zusammensetzung eines natürlichen granitischen Gesteins ("Grimstad-Granit") nach CHRISTIE et al. (1970).
+) Modalbestand der verschiedenen Gesteinstypen innerhalb des Grimstad--Granits.

CHRISTIE, O.H.J. et al. (1970)
Petrology of the Grimstad-Granite II
Norges Geologiske Undersökelse, No. 265

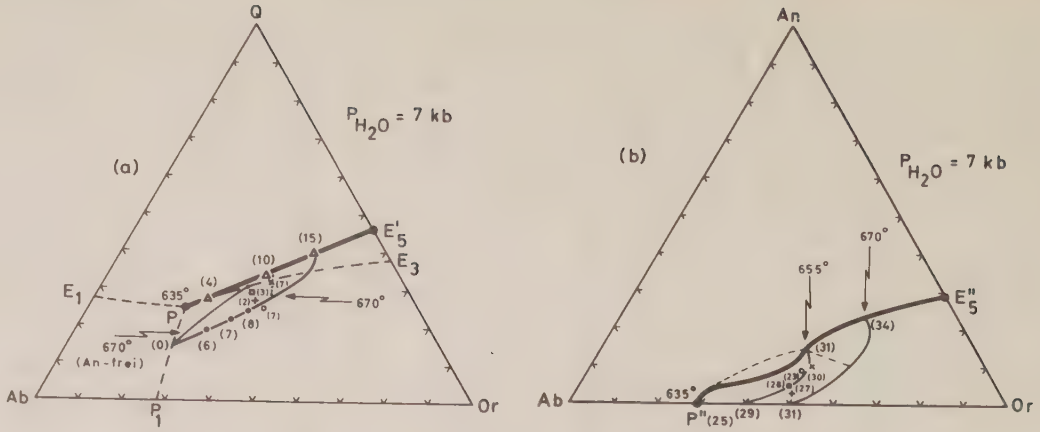


Abb. 13 a: Darstellung der vier Gesteinstypen des Grimstad-Granits der Tabelle 17 als Zentralprojektion in das An-freie System Q-Ab-Or. Der besseren Übersicht halber sind die Projektion der kotektischen Linie ($P-E'_5$), die 670 °- Isotherme im An-freien System und auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V, die drei kotektischen Linien des Systems Q-Ab-Or (gestrichelt) und die Abgrenzung (punktiert) des wahrscheinlichen Bildungsbereiches anatektischer granitischer Magmen (siehe Abb. 12 b) mit eingezeichnet. ● = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Fläche Pla-Akf-L-V. Δ = Schmelzzusammensetzungen auf der kotektischen Linie. In ( ) Gew.% An-Gehalt bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.

Abb. 13 b: Darstellung der vier Gesteinstypen des Grimstad-Granits der Tabelle 17 als Zentralprojektion auf das Seitensystem Ab-Or-An. Der besseren Übersicht halber sind die Projektion der kotektischen Linie ($P''-E''_5$), die 655 °- und die 670 °- Isotherme auf der kotektischen Fläche Q-Akf-L-V und die Umgrenzung (gestrichelt) des wahrscheinlichen Bildungsraumes anatektischer granitischer Magmen (siehe Abb. 12 d) mit eingezeichnet.
In ( ) Gew.% Q-Gehalt bezogen auf Q+Ab+Or+An = 100.
+ = Feinkörniger Granit; □ = Normal-Granit; o = Quarz-Monzonit; x = Mittelkörniger Granit.

Ein weiterer Vergleich wurde zwischen kotektischen granitischen Schmelzen und natürlichen granitischen Gesteinen angestellt (siehe Tab. 18). Zu diesen granitischen Gesteinen (Durchschnittswerte von Kalk-Alkali- und Alkali-Granit) lagen keine Modalanalysen vor. Zum Vergleich wurden hier lediglich aus der angegebenen CIPW-Norm die vier Komponenten Quarz, Albit, Kalifeldspat und Anorthit auf 100 Gew.% umgerechnet.

Kotektische granit. Schmelzen					Natürl. granit. Gesteine				
Nr.		or	ab	an	Nr.		or	ab	an
112		47	48	5	1		48	47	5
111		49	42	9	2		51	40	9
Nr.	q	or	ab	an	Nr.	q	or	ab	an
112	31	33	33	3	1	34	32	31	3
111	31	34	29	6	2	31	35	28	6

Tab. 18: Vergleichsdarstellung experimentell ermittelter kotektischer granitischer Schmelzen mit natürlichen granitischen Gesteinen (Durchschnittsanalysenwerte). Analysen nach NOCKOLDS (1954).
Gestein Nr. 1 = Alkali-Granit
Gestein Nr. 2 = Kalk-Alkali-Granit

Angabe in Gew.%.

NOCKOLDS, S.R. (1954)
Average chemical composition of some igneous rocks
Bull. of the Geol. Soc. Amer., 65, 1007 - 1032

Da es sich bei den eben erwähnten beiden Gesteinstypen um Durchschnittsanalysenwerte handelt, können hier sowohl Granite magmatischen als auch metasomatischen Ursprungs mit erfaßt sein. Wie die Gegenüberstellung zeigt, liegt zwischen den kotektischen granitischen Schmelzen und den natürlichen Graniten eine nahezu vollständige Identität vor. Das bedeutet, daß diese beiden Granite ebenfalls, wie schon die Gesteinstypen des Grimstad--Granits, ihren darstellenden Punkt in dem experimentell ermittelten Bereich geringen An-Gehaltes und niedriger Temperatur in der Umgebung der kotektischen Linie $P\text{-}E_5$ haben.

Es kann somit angenommen werden, daß ein sehr großer Teil der in den beiden Durchschnittsanalysen erfaßten Granite (auch unter Abzug ihrer Biotit-Komponente, die eine potentielle Or-Quelle dastellt) noch in besagtem Bildungsbereich liegt und die Mehrzahl dieser durch die zwei Durchschnittsanalysen repräsentierten Granite damit magmatischer Natur ist.

Damit ist der experimentell ermittelte Bereich geringen An-Gehaltes und niedriger Temperatur in der Umgebung der kotektischen Linie $P\text{-}E_5$ als besonders wahrscheinlicher Bildungsraum für anatektische granitische Magmen auch tatsächlich realisiert.

G) ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Bestimmung niedrigtemperierter Schmelzzusammensetzungen im granitischen System Q-Ab-Or-An(-H_2O) auf den kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V und die Anwendung der Versuchsergebnisse auf das bedeutende Problem der Entstehung von granitischen Gesteinen.

Die dafür hydrothermal (H_2O-Überschuß und geschlossenes System) hergestellten Proben (mit einem Schmelzanteil von mindestens 80 Gew.%) wurden mit einer Elektronenstrahlmikrosonde vom Typ ARL EMX im Geochemischen Institut der Mineralogischen Anstalten nach dem in meiner Diplomarbeit ausgearbeiteten Meßprogramm analysiert. Die für die Darstellung der Ergebnisse in der CIPW-Norm notwendigen Berechnungen von Korrekturfaktoren und die Umrechnung der Mikrosondenimpulsraten in Mol- und Gewichtsprozente wurden mit Hilfe eines FORTRAN-Compilers im Göttinger Rechenzentrum nach dem Rechenprogramm EMPADR VII durchgeführt.

Im ersten, allgemeinen Teil dieser Arbeit wurden die Herstellung von Ausgangsmischungen und Proben, die Arbeitsmethodik der Mikrosonde (Prinzip und Instrumentation), die Vorbereitung von Proben und Standards, sowie aufgetretene Abdampfeffekte (hier des Natriums) kurz abgehandelt. Es konnte ferner ein Analysenfehler für die vier Komponenten Quarz, Albit, Kalifeldspat und Anorthit bei der Darstellung in der CIPW-Norm angegeben werden; nämlich $\pm$ 1 Gew.% für Q, Ab und Or, sowie $\pm$ 0,5 Gew.% für An.

Durch die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der granitischen Schmelzen konnten die Werte von BURNHAM (1962) bezüglich H_2O-Aufnahme granitischer Magmen von etwa 10 Gew.% bei 5 und etwa 14 Gew.% bei 7 kb H_2O-Druck bestätigt werden. Der Mittelwert der erzielten Analysenergebnisse für die Mikrosondenbestimmung granitischer Schmelzen lag hier für 5 kb H_2O-Druck bei 90 $\pm$ 1 Gew.% und für 7 kb H_2O-Druck bei 86 $\pm$ 1 Gew.%. Das heißt, daß die untersuchten Proben bei 5 kb H_2O-Druck zwischen 9 und 11 und bei 7 kb H_2O-Druck zwischen 13 und 15 Gew.% Wasser gelöst enthielten.

Der erste Abschnitt des experimentellen Teils galt der Bestimmung der kotektischen Linie P-E_5 (bei 5 kb H_2O-Druck) im Raum des Q-Ab-Or-An-Tetraeders. Wie das Ergebnis (dargestellt in Abb. 6) zeigt, stimmt ihr Verlauf in der Zentralprojektion in das An-freie System Q-Ab-Or sehr gut mit dem überein, wie ihn WINKLER (1974) vermutete (siehe Abb. 3), nämlich eine nahezu kontinuierliche Veränderung des Q-Ab-Or-Verhältnisses mit steigender Temperatur bei gleichbleibendem Druck. Neu und unerwartet jedoch war der Verlauf der kotektischen Linie hinsichtlich ihres unregelmäßigen Anstiegs im An-Gehalt; das zeigt gut die Zentralprojektion auf das Seitensystem Ab-Or-An (siehe Abb. 8).

Der zweite Abschnitt des experimentellen Teils galt der Bestimmung niedrig-temperierter Schmelzzusammensetzungen im System Q-Ab-Or-An auf den kotektischen Flächen Pla-Akf-L-V und Q-Akf-L-V bei 5 und 7 kb H_2O-Druck. Anhand der Festlegung von Isothermen bei relativ niedrigen Temperaturen (670 und 685 °C bei 5 bzw. 655 und 670 °C bei 7 kb H_2O-Druck) konnten um die An-ärmere Hälfte der kotektischen Linie P-E_5 auf beiden kotektischen Flächen und im Raum des Tetraeders Bereiche ermittelt werden, die eine niedrige Temperatur und einen geringen An-Gehalt (maximal 9 Gew.% bei 5 und maximal 11 Gew.% bei 7 kb H_2O-Druck) aufweisen, was die Abbildungen 12 a - d zeigen. Diese Bereiche stellen gleichzeitig einen Teil des wahrscheinlichen Bildungsraumes für anatektische granitische Magmen dar, also für die Entstehung von Graniten, Granodioriten, aber auch von Quarz-Syeniten, Quarz-Monzoniten und Quarz-Monzodioriten. Der andere, ebenso wahrscheinliche Bereich für die Bildung anatektischer granitischer Schmelzen liegt auf und ganz in der Nähe der dritten kotektischen Fläche Q-Pla-L-V, die hier nicht untersucht worden ist.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H.G.F. Winkler, danke ich sehr herzlich für die Themenstellung und für viele klärende Diskussionen und Anregungen.

Mein Dank gebührt ebenfalls Herrn Dr. E. Karotke und Herrn Dr. A. Schneider für viele wertvolle Anregungen und Diskussionen, sowie dem Geochemischen Institut für die Benutzung der Elektronenstrahlmikrosonde.

H) LITERATURHINWEIS

BAMBAUER, H.U.; CORLETT, M.; EBERHARD, E. and VISWANATHAN, K. (1967)

Diagramms for the Determination of Plagioclases using X-ray Powder Methods (Part III of Laboratory Investigations on Plagioclases)
Schweiz. miner. petrogr. Mitt. 47, 333-364

BOESE, M. (1973)

Direkte Bestimmung kotektischer Schmelzen im granitischen System Q-Ab-Or-An(-H_2O) mit der Elektronenstrahlmikrosonde ARL EMX
Diplomarbeit Göttingen (unveröffentlicht)

BURNHAM, C.W. (1962)

Hydrothermal Fluids at the Magmatic Stage
Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, edited by H.L. BARNES, 34-76
Holt, Rinehart and Winston Inc., New York, 1967

EBERHARD, E. (1967)

Zur Synthese der Plagioklase
Schweiz. miner. petrogr. Mitt. 47, 385-398

ERNST, TH. und MOERTEL, H. (1969)

Die Restausscheidungen tholeiitischer Basalte des "Maintrapps"
N. Jb. Miner. Mh. 9, 362-379

FERGUSON, F.D. and JONES, T.K. (1966)

The phase rule
Butterworthe, London

HERRMANN, G. und KNAKE, D. (1973)

Coulimetrisches Verfahren zur Bestimmung von Gesamt-, Carbonat- und Nichtcarbonat-Kohlenstoff in magmatischen, metamorphen und sedimentären Gesteinen
Z. Anal. Chem. 266, 196-201

JAMES, R.S. and HAMILTON, D.L. (1969)

Phase Relations in the System $NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$ - SiO_2 at 1 Kilobar Water Vapour Pressure
Contr. Miner. and Petrol. 21, 111-141

KEIL, K. (1967)

The electron microprobe X-ray analyser and its application in mineralogy
Fortschr. Miner. 44, 4-66

KUPCIK, V.; SCHNEIDER, A. und VARCEK, C. (1969)

Chemismus von einigen Bi-Sulfosalzen aus dem Zips-Gömörer Erzgebirge (CSSR)
N. Jb. Miner. Mh. 10, 445-454

LINDEMANN, W. (1969)

Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung des Eutektikums im System Q-Or-An-H_2O
Diplomarbeit Göttingen (unveröffentlicht)

LINDEMANN, W. (1970)

Experimentelle Untersuchungen im System Quarz - Kalifeldspat - Anorthit - Wasser
Dissertation Göttingen (unveröffentlicht)

LUTH, W.C.; JAHNS, R.T. and TUTTLE, O.F. (1964)

The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars
J. Geophys. Res. 69, 759-773

MARCOPOULOS, TH. (1973)

Bestimmung kotektischer Schmelzen im granitischen System Q-Ab-Or-An-H_2O mit einer Näherungsmethode
Diplomarbeit Göttingen (unveröffentlicht)

MARCOPOULOS, TH. (1974)

Bestimmung niedrig-temperierter Schmelzzusammensetzungen im System Q-Ab-Or-An-H_2O auf der kotektischen Fläche Quarz-Plagioklas-Schmelze-Gasphase
Dissertation Göttingen

MOERTEL, H. (1971)

Foide und Zeolithe (Restkristallisate) basaltischer Gesteine des Vogelsberges (Hessen)
N. Jb. Miner. Abh. 115, 54-97

MUELLER, G and SCHNEIDER, A. (1971)

Chemistry and genesis of garnets in metamorphic rocks
Contr. Miner. and Petrol. 31, 178-200

ORVILLE, PH.M. (1962)

Alkali ion exchange between vapour and feldspar phases
Amer. J. Sci. 261, 201-237

PIWINSKII, A.J. and WYLLIE, P.J. (1970)

Experimental studies of igneous rock series: felsic body suite from the Needle Point Pluton, Wallowa Batholith,Oregon
J. Geol. 78, 52-76

PLATEN, H.v. (1965)

Kristallisation granitischer Schmelzen
Contr. Miner. and Petrol. 11, 334-381

SECK, H.A. (1971)

Alkali feldspar-liquid and alkali feldspar-liquid-vapour relationships at pressures of 5 and 10 kbar
N. Jb. Miner. Abh. 115, 140-163

SECK, H.A. (1971)

Koexistierende Alkalifeldspäte und Plagioklase im System $NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$ bei Temperaturen von 650 bis 900 °C
N. Jb. Miner. Abh. 115, 315-345

SECK, H.A. (1971)

Der Einfluß des Druckes auf die Zusammensetzung koexistierender Alkalifeldspäte und Plagioklase im System $NaAlAi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$ - H_2O
Contr. Miner. and Petrol. 31, 67-86

THOMPSON, S.C. and WADSWORTH, M.E. (1957)

Determination of the composition of plagioclase feldspars by means of infrared spectroscopy
Amer. Miner. 42, 334-341

TUTTLE, O.F. and BOWEN, N.L. (1958)

Origin of granite in the light of experimental studies in the system $NaAlSi_3O_8$ - $KAlSi_3O_8$ - SiO_2 - H_2O
Geol. Soc. Amer., Memoir 74

VISWANATHAN, K. (1970)

A new method to determine the anorthite content and structural state of plagioclases
Contr. Miner. and Petrol. 30, 332-335

WINKLER, H.G.F. (1957)

Experimentelle Gesteinsmetamorphose I
Hydrothermale Metamorphose karbonatfreier Tone
Geochim. et Cosmochim. Acta 13, 42-69

WINKLER, H.G.F. (1967)

Petrogenesis of Metamorphic Rocks
2nd edition
Springer-Verlag

WINKLER, H.G.F. (1974)

Petrogenesis of Metamorphic Rocks
3rd edition
Springer-Verlag

WINKLER, H.G.F. and GHOSE, N.C. (1973)

Further data on the eutectics in the system Q-Or-An-H_2O
N. Jb. Miner. Mh. 11, 481-484

WINKLER, H.G.F. and LINDEMANN, W. (1972)

The system Q-Or-An-H_2O within the granitic system Q-Ab-Or-An-H_2O. Application to granitic magma formation
N. Jb. Miner. Mh. 2, 49-61

WINKLER, H.G.F. und PLATEN, H.v. (1958)

Experimentelle Gesteinsmetamorphose II
Bildung von anatektischen granitischen Schmelzen bei der Metamorphose von NaCl-führenden kalkfreien Tonen
Geochim. et Cosmochim. Acta 15, 91-112

WINKLER, H.G.F. und PLATEN, H.v. (1960)

Experimentelle Gesteinsmetamorphose III
Anatektische Ultrametamorphose kalkhaltiger Tone
Geochim. et Cosmochim. Acta 18, 294-316

WINKLER, H.G.F und PLATEN, H.v. (1961 a)

Experimentelle Gesteinsmetamorphose IV
Bildung anatektischer Schmelzen aus metamorphisierten Grauwacken
Geochim. et Cosmochim. Acta 24, 48-69

WINKLER, H.G.F. und PLATEN, H.v. (1961 b)

Experimentelle Gesteinsmetamorphose V
Experimentelle anatektische Schmelzen und ihre petrogenetische Bedeutung
Geochim. et Cosmochim. Acta 24, 250-259

YODER, H.S.; STEWART, D.B. and SMITH, J.R. (1957)

Feldspars
Carnegie Inst., Washington D.C., Year Book 56, 206-216

LEBENSLAUF

Als Sohn des Bundesbahnbeamten Adolf Böse und seiner Ehefrau Maria, geb. Sinke, wurde ich am 16. Februar 1947 in Amberg in Bayern geboren.

Im Jahre 1950 zogen meine Eltern nach Kastl bei Amberg. Dort besuchte ich die Volksschule von 1953 bis 1958. Anschließend trat ich in die Oberrealschule in Amberg ein. Im Jahre 1960 übersiedelten meine Eltern nach Sulzbach-Rosenberg. Dort besuchte ich vom Jahre 1963 ab das Mathematisch-Naturwissenschaftliche Gymnasium, an dem ich am 23. Juli 1968 die Hochschulreife erwarb.

Im Wintersemester 1968/69 schrieb ich mich als Student der Mineralogie an der Universität Erlangen-Nürnberg ein, wo ich am 8. Juli 1971 die Diplom-Vorprüfung in Mineralogie bestand. Im Wintersemester 1971/72 setzte ich mein Studium an der Universität Göttingen fort und begann im Sommersemester 1972 unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H.G.F. Winkler im Petrologischen Institut der Mineralogischen Anstalten mit der Anfertigung meiner Diplomarbeit über das Thema: "Direkte Bestimmung kotektischer Schmelzen im granitischen System Q - Ab - Or - An - H_2O mit der Elektronenstrahlmikrosonde ARL EMX". Am 4. Mai 1973 bestand ich die Diplom-Hauptprüfung in Mineralogie. Am 17. Mai 1974 heiratete ich Fräulein Monika Moosmann.

Bönecke-Druck 3392-Clausthal-Z. 29